# الذرة والتنمية



الهيئة العربية للطاقة الذرية

نشرة علمية إعلامية فصلية

المجلد الحادي عشر - العدد الرابع 1999

- وكالة الطاقة النووية توضح تأثيرات الجرعات المنخفضة
- القليل من الإشعاعات النووية قد يكون مفيداً
- معجلات الجسيمات المشحونة ذات الطاقة العالية
- حوار حول أشعة جاما
- التفجير النووي للأغراض السلمية
- إستخدام النظائر المشعة في دراسة حياة الحشرات وقدرتها على التطور ومقاومة المبيدات
- العوامل المؤثرة على التلوث الإشعاعي للأغذية والمياه
- كيفية إزالة التلوث الإشعاعي من المواد الغذائية والمياه
- كشاف موضوعي للمقالات المنشورة في نشرة الذرة والتنمية لعام 1999



نشرة الذرة والتنمية : نشرة علمية إعلامية فصلية تهتم بمختلف مجالات العلوم النووية
تصدر عن الهيئة العربية للطاقة الذرية



- المقالات والمراسلات الأخرى توجه إلى سكرتير لجنة التحرير، نشرة الذرة والتنمية على عنوان الهيئة
- الإشتراكات والتوزيع : ترسل الطلبات إلى قسم توزيع المطبوعات بالهيئة على العنوان أدناه مع إرفاق شيك باسم الهيئة العربية للطاقة الذرية بالمبلغ المطلوب أو إجراء تحويل بنكي إلى حساب الهيئة لدى الشركة التونسية للبنك رقم : 840_3 / 173 4_90_100 .
  الإشتراكات السنوية 15 دولار أمريكي للأفراد
  20 دولار أمريكي للمؤسسات
  يضاف إليها 8 دولارات أمريكية قيمة البريد
- الإعلانات بالنشرة يتم الإتفاق عليها بمخاطبة قسم الإعلام في الهيئة

**العنوان البريدي : الهيئة العربية للطاقة الذرية ص. ب. 402 ـ المنزه 1004 تونس .**
**الهاتف : 709.464 ـ 709.483 ـ الفاكس : 711.330 .**



# الذرة والتنمية




نشرة فصلية ربع سنوية

تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية ـ تونس

المجلد الحادي عشر ـ العدد الرابع ـ سنة 1999

# جدول المحتويات


| الموضـــــوع | الصفحة |
| --- | --- |
| * وكالة الطاقة النووية توضح تأثيرات الجرعات المنخفضة (مترجم) ..................... | 3 |
| * القليل من الإشعاعات النووية قد يكون مفيداً ـ م. عبد الحكيم عامر الطويل ..................... | 6 |
| * معجلات الجسيمات المشحونة ذات الطاقة العالية (الجزء الرابع) ـ أ. د. محمد عزت عبد العزيز ..................... | 8 |
| * حوار حول أشعة جاما ـ عمّار عبد الرحمن السعد ..................... | 14 |
| * التفجير النووي للأغراض السلمية ـ فالح حسين جار الله ..................... | 19 |
| * إستخدام النظائر المشعة في دراسة حياة الحشرات وقدرتها على التطور ومقاومة المبيدات ـ د. محمد منصور ..................... | 23 |
| * العوامل المؤثرة على التلوث الإشعاعي للأغذية والمياه ـ د. حسين الونداوي ..................... | 29 |
| * كيفية إزالة التلوث الإشعاعي من المواد الغذائية والمياه ـ د. حسين الونداوي ..................... | 33 |
| * أخبار عالمية ..................... | 38 |
| * أخبار الهيئة ..................... | 39 |
| * كشاف موضوعي للمقالات المنشورة في نشرة الذرة والتنمية لعام 1999 ..................... | 46 |
| * قائمة مطبوعات الهيئة العربية للطاقة الذرية ..................... | 48 |

# وكالة الطاقة النووية توضح تأثيرات الجرعات المنخفضة*

*«أصدرت وكالة الطاقة النووية (NEA) تقريراً ملخصاً عن وضع المعرفة العلمية بشأن التأثيرات الصحية للجرعات المنخفضة من الإشعاع. لقد مرّ أكثر من قرن من الزمان منذ اكتشاف الإشعاع لأول مرة، ولكن مازالت آثاره الدقيقة غير مفهومة بشكل كامل» .*

إن القاعدة العلمية الأساسية التي تدعم حدود الحماية من الإشعاع لكل من العاملين في الصناعة النووية وعموم الجمهور هي فرضية تأثير الجرعة اللاّعتبية الخطية (The linear no-threshold, LNT). وكتطبيق لقاعدة التدابير الوقائية يفترض أنه لا يوجد مستوى جرعة إشعاعية لا يزيد من خطر الإصابة بنمو سرطاني منفرد .

وبالرغم من ذلك فإنه عند الجرعات الإشعاعية المنخفضة من المستحيل إثبات وجود ارتباط مباشر بين التعرض للإشعاع والسرطان، كما أن الدليل على ذلك قد تم إدراكه من التجارب التي أجريت على الحيوانات والدراسات الوبائية على المجموعات التي تعرضت للإشعاع مثل الناجين من انفجارات القنابل الذرية في هيروشيما ونغازاكي باليابان والسكان القاطنين حول تشرنوبيل وتشليابنسك في روسيا. ولازالت هناك ريبة علمية لها اعتبارها عند الحديث عن ماهية التأثيرات الصحية الفعلية للجرعات المنخفضة .

## المعلومات المعروفة

يلخص تقرير وكالة الطاقة النووية الوضع الحالي للمعرفة المؤكدة في هذا المجال، والتي تتضمّن ما يلي :

1 ـ إن التأثير الجسدي الرئيسي للإشعاع المؤين عند الجرعات المنخفضة هو حث السرطان. وعند الجرعات المرتفعة (أكثر من 500 مليون غراي) تحدث تأثيرات محددة مثل الإلتهاب الجلدي (Erythema) وإعتام عدسة العين (Cataracts) والعقم (Infertility) .

2 ـ يعتبر الإشعاع المؤين عند مستويات الجرعات، ذات الأهمية بالنسبة للوقاية من الإشعاع، مادة مسرطنة ضعيفة .

3 ـ هناك دليل قاطع على خطر الإصابة بالسرطان المستحث إشعاعياً عند البشر عند تعرضهم لجرعات تفوق 200 مليون غراي .

4 ـ لم تتم ملاحظة أية تأثيرات بيولوجية إيجابية عند البشر الذين تعرضوا لجرعات شديدة من الإشعاع المؤين.

5 ـ أظهرت الأنسجة والأعضاء المختلفة حساسية واسعة المدى للسرطانات المستحثة إشعاعياً .

6 ـ للسرطانات الصلبة المستحثة إشعاعياً فترة كمون طويلة قد تصل عموماً إلى أكثر من عشر سنوات. ويمكن أن يظهر مرض اللوكيميا (Leukaemia) أو سرطان الغدة الدرقية (Thyroid cancer) في الأطفال بعد سنوات قليلة من التعرض للإشعاع .

7 ـ إن العوامل المتنوعة المتعلقة بالمضيف (Host factors) مثل العمر عند التعرض والزمن بعد التعرض ونوع الجنس والقابلية الجينية، وكذلك العوامل البيئية مثل تدخين السجائر والعوامل المسببة للعدوى تؤثر على خطر الإصابة بالسرطان عند مستويات التعرض في الأماكن التي لوحظ فيها وجود تأثيرات إشعاعية .

8 ـ من المعروف وجود آليات لتعويض الخلايا، ولكن هذه الآليات يمكن أن تحدث بشكل خاطىء قد يؤدي إلى تلف المتبقي من الدنا (DNA) «حمض ريبي نووي منقوص الأكسجين» .

9 ـ يعتمد ناتج الأحداث الخلوية والجزيئية الأولية خطياً على الطاقة الممتصة في بعض الأحيان، ومع ذلك فقد عُرف عدد من العمليات البيولوجية متعددة المراحل التي تعتمد نتائجها لاخطياً على الطاقة الممتصة .

10 ـ إن الدراسات الوبائية وحدها لن توفر دليلاً حاسماً على وجود تأثيرات مسرطنة أو عدم وجودها

* ترجمة مقتبسة عن تقرير للمجموعة العاملة في لجنة الحماية من الإشعاع والصحة العامة ولجنة الطاقة النووية بفرنسا ـ مجلة "Nuclear Engineering International" عدد أبريل 1999 ـ ص : 19 ـ 22 .

نتيجة الجرعات المنخفضة للإشعاع أو المعدلات المنخفضة للجرعات، ولكن الافتقار إلى هذا الدليل ليس إثباتاً على عدم وجود تلك التأثيرات.

11 ـ إن نمو الجنين النباتي أو الحيواني أو الإنساني يكون أكثر حساسية عند التعرض للإشعاع المؤين بالنسبة لما يحدث في حالة الأطفال أو البالغين.

12 ـ لم تسجل الدراسات الوبائية أية تأثيرات وراثية للإشعاع في البشر بدرجة موثوق بها إحصائياً.

## ما هو غير المعروف ؟

لقد وضع تقرير وكالة الطاقة النووية أيضاً قائمة بما لم يزل غير معروف في هذا المجال، كما يلي:

1 ـ إن العلاقة بين الجرعة وتأثيرها عند الجرعات المنخفضة وكذلك عند معدلات الجرعات الإشعاعية المحدثة للسرطان في البشر لا تزال محل جدل.

2 ـ إن دور العوامل المتعلقة بالمضيف والعوامل البيئية كمحددات حاسمة لخطر الإشعاع غير مؤكد.

3 ـ تظهر الأنواع المختلفة من الإشعاع (ألفا، بيتا، جاما، نترونات) لنفس الجرعة الممتصة فعاليات مختلفة عند دراسة التأثيرات البيولوجية المستحثة. ولاتزال قاعدة الفعالية البيولوجية للإشعاعات المختلفة والتأثيرات المتأخرة المستحثة عند البشر بعد التعرض لجرعات منخفضة وبمعدلات منخفضة غير مفهومة بشكل كاف.

4 ـ إن آليات إحداث السرطان سواء المستحث بالإشعاع أو عن طريق أي عوامل أخرى يُعتقد أنها عملية متعددة المراحل وهي غير مفهومة بشكل كامل. ويفترض أن أصل السرطان يعود لكونه نتيجة أحداث تطفيرية للمحالّ الجينية الحرجة، وكذلك لعوامل أخرى مثل حالة الهرمونات والعمر والوظيفة المناعية ...الخ. ولا تزال تأثيرات الإشعاع على مراحل معينة من التسرطن غير مفهومة بشكل كامل.

5 ـ على الرغم من افتراض أن تلف الدنا (DNA) هو الخطوة الأساسية نحو حدوث السرطان بالإشعاع، فإن الأضرار الحرجة في الدنا المسؤولة عن التطفيرات الجينية والإضطرابات الكروموسومية التي تؤدي إلى السرطان غير معروفة. ولا يمكن بشكل محدد ربط سبب حدوث سرطان منفرد بالتعرض للإشعاع.

6 ـ من غير المعروف كمية الخلايا الورمية الجينية التي تلزم لإنتاج السرطان في الجسم الحي (In vivo).

7 ـ من غير الواضح لماذا تختلف حساسية الأنسجة والأعضاء تجاه الإشعاع. وفي الوقت الحاضر لا نعرف ما إذا كانت الحساسية نحو الإشعاع يمكن التكهن بها من الحدوث التلقائي لمعظم السرطانات.

8 ـ نحن لا نملك أية طرق لقياس حساسية الفرد للإشعاع.

9 ـ إن تأثير عمليات الإصلاح أو التعويض بالنسبة للمخاطر الجينية الإشعاعية في الإنسان عند التعرض لجرعات منخفضة وبمعدلات منخفضة غير مفهوم بشكل كامل، ولكن من المعروف أن عمليات الإصلاح الكيميائية والبيولوجية للتلف الناتج عن الإشعاع تحدث في الخلايا. ويساهم ذلك في الشك في معاملات التصحيح (Correction factors) للجرعة ومعدلها، والتي تستعمل في تقدير المخاطر الجينية الإشعاعية.

10 ـ من غير الواضح ما إذا كانت التأثيرات الصحية البيولوجية الإيجابية للإشعاع موجودة في البشر.

## إستمرار الجدل

لقد نتج عن تلك الشكوك جدل استمر خلال الخمسين عاماً الماضية حول الحدود الآمنة للتعرض الإشعاعي. وكان الأسلوب العام على مدى الزمن يدور حول تضييق الحدود، على الرغم من معارضة عدد من علماء البيولوجيا الإشعاعية لفرضية الجرعة اللاّعتبية الخطية (LNT). وكان التضييق التدريجي للحدود نتيجة ليس فقط للدليل العلمي ولكن لعوامل أخرى تتضمن إعتبارات إجتماعية وسياسية وإقتصادية. وتتمثل الصعوبة في أن الدليل العلمي أغلبه متناقض، وقد لخصت وكالة الطاقة النووية تلك الصعوبات فيما يلي:

على الرغم من تأكيدات جوانب مختلفة من الجدل وبالرغم من غياب إيضاح محدد وصريح لآليات حث السرطان، لا بد لنا من ملاحظة أن بعض البيانات تعزز استخدام نموذج الجرعة اللاّعتبية الخطية وبعضها الآخر يبرهن على وجود عتبة. وعلاوة على ذلك يبدو واضحاً أن تصميم الإختبارات يمكن أن يؤثر على شكل العلاقة. وكلّما كان الهدف أصغر كلما كانت العلاقة الخطية أكثر وضوحاً في بعض الأحيان، وربما يرجع سبب ذلك إلى أن الأحداث الجزيئية الأولية تكون غالباً خطية (ويمكن أن

تعمل كمقياس للجرعات الإشعاعية)، بينما في حالة المستويات العالية للتعضيات البيولوجية (الأنسجة، الأعضاء، الكائنات الحية) تلاحظ في بعض الأحيان عمليات غير خطية بشكل كبير .

وقد وجدت معظم الدراسات صعوبة في إيجاد أي دليل إحصائي عن معدلات الإصابة بالسرطان عند التعرض للمستويات المنخفضة التي تقل عن 200 مليون غراي، على الرغم من إدعاء البعض بوجود دليل على الإصابة عند جرعة 50 مليون سيڤرت .

وبالنظر إلى الوضع الحالي للمعرفة المتاحة والقاعدة الوقائية فإن استخدام فرضية الجرعة اللاّعتبية الخطية والنظام الحالي للحماية لايزال مبرّراً، حيث أنه يلزم تطبيق أسلوب موحد لجميع المصادر والممارسات، كما جاء في تقرير وكالة الطاقة النووية. ومع ذلك فإنه لم يصرف النظر عن إمكانية وجود العتبات ولكنه يطالب بالوقاية من تأثيراتها .

ويمكن اعتبار تأثير المعلومات عن وجود العتبات أو أشباه العتبات في حالات معينة، أمراً جوهرياً في مجال التشعيع الداخلي عن طريق النويدات المشعة لغرض إدارة التحاليل والحماية من الإشعاع في تلك الحالات. ويجب أن تبدأ لجنة الحماية من الإشعاع والصحة العامة (CRPPH) في الإتجاه نحو تفكير أعمق لاستخدام مقاربة مبنية على الخبرة (Expertise approach) في حالات معينة، مع ملاحظة أن ذلك غير متناقض مع النظام الحالي للحماية من الإشعاع. هذا التفكير يجب أن يتضمّن الملاءمة وخصوصاً معنى التطبيق العملي وسوء الاستعمال المحتمل لتلك المقاربة المبنية على الخبرة، وربما توضيح هذا المنظور بسلسلة من دراسات الحالة التي تلائم المقاربة .

وهناك قضية كبرى أخرى ألا وهي الصعوبة في إرجاع إصابة فرد ما بالسرطان لحدث معين مثل التعرض للإشعاع، فالمعادلة تتكوّن من عدد من العوامل الأخرى مثل التركيبات الجينية والتدخين، ونادراً ما يمكن الوصول إلى استنتاج محدد في أية حالة منفردة. ويتم تنفيذ العمل وفحص الحالة عند وجود علامات بيولوجية تبيّن النمو المبكر للورم .

ومن غير المعلوم في الوقت الحاضر ما إذا كانت الخلايا الورمية تحمل العلامة الدالة على عواملها المسببة لها. إن العلامات البيولوجية ومقاييس الجرعات الإشعاعية لم تزل غير متاحة عند مستويات الجرعات ذات العلاقة بالحماية من الإشعاع، ومع ذلك فإن التطورات في هذا المجال تؤدي إلى احتمال كبير لتحفيز الدراسات الوبائية التي يمكن أن تؤثر نتائجها بشكل ملحوظ على الحماية من الإشعاع. وسوف يكون لتلك التطورات تضمينات عدة في مجال تقدير مسببات السرطان عند الأفراد، وسيتم تضمينها أيضاً في البرامج الوطنية في مناطق العمل وقدرات العمل والتأمين الصحي وتعويضات العاملين .

ومن الجدير بالذكر أن العوامل الجينية، وخصوصاً في المجموعات السكانية ذات القابلية المتزايدة للإصابة بالسرطانات المستحثة إشعاعياً، هي قضية أخرى يمكن أن تجبرنا في المستقبل على اعتماد حدود أقل للتعرض إلى الإشعاع. وقد أشارت وكالة الطاقة النووية إلى أن هناك تفاعلاً بين العديد من العوامل البيئية والمنفردة، بما فيها الجينات والتدخين وتراكيز غاز الرادون، والتي تنضم مع بعضها لتنتج السرطانات .

## الخلاصة

يمكن القول بأن التفاعلات بين الإشعاع والعوامل الأخرى الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية هي محورٌ هام في العديد من العمليات البيولوجية والنتائج المترتبة عليها. إن تضمين تلك التفاعلات لتحديد المخاطر الصحية المنفردة والتراكمية في مفهوم موحد يشمل التعرضات لكل العوامل الهامة يحتاج إلى أن يؤخذ في الإعتبار بصورة دقيقة. ولتحقيق ذلك يلزم إجراء بحوث أساسية بالإضافة إلى تطوير النماذج ذات العلاقة بالمفاهيم السابقة. وبناء على تلك الإنجازات فإن البيانات المتوافرة في علم الأوبئة يجب أن يعاد تقييمها بالنظر إلى تلك التفاعلات، ويجب أن يتم تطوير دراسات حديثة للتحقق على وجه الخصوص من تأثيرات العوامل المشتركة. وعلى ذلك ففي حالة خاصة واحدة - التعرض للرادون وتدخين السجائر - يمكن أن يكون للنتائج الواضحة الحديثة سياسة صحية عامة واستراتيجية ملطفة وتضمينات تنظيمية خلال السنوات القليلة القادمة. ويجب أن تراقب لجنة الحماية من الإشعاع والصحة العامة (CRPPH) التقدم الحاصل في مجال بحوث التأثيرات المشتركة، ومن خلال تلك المراقبة يمكن أن يقوم أعضاء اللجنة بمحاولة تشجيع التعاون الدولي والتعاون بين برامج البحوث الوطنية .

**ترجمة : م. نهلة نصر**

# القليل من الإشعاعات النووية قد يكون مفيداً

*«في المقال السابق في هذا العدد عرضنا لتقرير وكالة الطاقة النووية الذي يبيّن إمكانية حدوث سرطانات من الجرعات الإشعاعية المنخفضة وظروف واحتمالات ذلك التأثير. وهذا المقال يعرض لبعض التجارب العملية التي تبين بجلاء أن الجرعات الإشعاعية المتناهية في الضآلة قد تكون مفيدة بشكل ما وعلى القارىء أن يعتنق القناعة التي ترضيه» .*

هناك عدة إثباتات على أن استقبال كميات ضئيلة للغاية من الأشعة الذرية يمكن أن يطيل عمر الإنسان ويساعد على مقاومته للأمراض وعلى شفاء الجروح وزيادة مقاومة الجسم الحي للعدوى. وهناك تجارب معملية عديدة جداً أكدت هذه النتائج، حيث تم تعريض كائنات حيّة مختلفة لكميات ضئيلة جداً من الأشعة السينية أو أشعة جاما لفترة طويلة نسبياً، لم تتعد أياماً، فوُجد أن الأشعة أثرت على هذه الكائنات تأثيراً هاماً ومفيداً، فقد اتضح مثلاً أنها تزيد من سرعة نمو هذه الكائنات، إذ ازداد نمو دودة الحرير والسرطان الأزرق والذباب والعث المشعع كما ازداد نمو الفئران التي عُرّضت للأشعة ونضجت أنواع من النباتات المثمرة بشكل أسرع وطالت فترة الإزهار في أنواع كثيرة من النباتات، كما زادت سرعة تطور الجنين في بيض الدجاج المشعع .

وتؤكد التجربة المثيرة التالية التأثير المفيد لكميّة ضئيلة جداً من الأشعة الذرية على نمو الكائنات الحيّة بشكل يصعب التشكيك فيه، فقد وُضعت مجموعة من أحد الكائنات الحية وحيدة الخلية «الباراميسيوم» في صندوق صنعت جميع جدرانه من الرصاص بسماكة عشرة سنتيمترات لمنع وصول الأشعة الطبيعية والصُنعية إليها، ووضعت باراميسيومات أخرى في صندوق رصاصي مماثل، لكن تُرك جدار واحد فقط رقيق للسماح بدخول الكميات الضئيلة جداً من الأشعة الطبيعية، وجُعلت كافة المؤثرات الحيوية الأخرى ثابتة كالهواء ودرجة الحرارة والضغط. وبعد 90 يوماً كُشف عن المجموعتين فظهرت نتيجة مدهشة للغاية، حيث اتضح أن نمو الباراميسيومات الموضوعة في الصناديق التي صنعت كافة جدرانها من الرصاص السميك كان بطيئاً بشكل واضح. وللتأكد من أن نقصان الأشعة كان السبب في ذلك وضعت كمية ضئيلة جداً من مادة تبث أشعة جاما في الصندوق الذي صنعت جدرانه من الرصاص، وبعد فترة زمنية أخرى كُشف عن هذا الصندوق فاتضح أن معدل نمو الباراميسيومات صار مماثلاً للمعدل الطبيعي. وطوال الثلاثين سنة الماضية أثبت العديد من التجارب المعملية الأخرى أن كمية ضئيلة جداً من الأشعة السينية أو أشعة جاما تزيد من نمو هذا الكائن .

واتضح كذلك أن التعرض إلى كمية ضئيلة جداً من الأشعة السينية أو أشعة جاما لفترة طويلة يزيد من كفاءة عدة وظائف حيوية في جسم الكائن الحي، مثلاً : إزداد عدد الخلايا المكونة لنخاع العظام، وازداد تطور دماغ الثدييات المشععة وازداد تدفق دمها في الدماغ، وزادت حدة السمع والنظر في الفئران والكلاب المشععة. أما أجنة الفئران التي تعرضت إلى كمية ضئيلة جداً من الأشعة لمدة 13 يوماً وهي في رحم أمها فقد مشت بعد ولادتها قبل الفئران غير المشععة، بل إنها مشت بخطوات أسرع منها كذلك، كما زادت سهولة التعلّم في القرود المشععة. إتضح كذلك أن التعرض إلى كمية ضئيلة جداً من الأشعة السينية أو أشعة جاما لفترة طويلة يزيد من أعداد المواليد، حيث زاد عدد المواليد الأحياء من بيض سمك السلمون المشعع، وزاد عدد البيض الذي تبيضه الدجاجة المشععة، وزاد عدد مواليد الفئران المشععة، كما زاد عدد مواليد أنواع مختلفة من الحشرات بعد تعريضها للإشعاع. وبالإضافة إلى ذلك فإن التعرض إلى كمية ضئيلة جداً من الأشعة السينية أو أشعة جاما لفترة طويلة يعطي مناعة ضد جرعات الأشعة الذرية الضارة نفسها، سواء أكان التعرض الأول للأشعة بكمية كبيرة أم صغيرة، في نفس اللحظة أو على مدى فترات، بداخل الكائن الحي أو من خارجه. كما اتضح أن هذا التعرض الأول يُكسب الكائن الحي مناعة ضد الكمية المميتة من الأشعة الذرية التي يمكن أن يتعرض لها بعد ذلك ! .

ورغم أن الحيوانات الصغيرة هي الأكثر حساسية للكميات الضارة من الأشعة الذرية فقد اتضح أن تعرّض أجنة الفئران لكمية ضئيلة من الأشعة في نفس الوقت أو على مدى فترة من الزمن يضاعف من مناعتها ضد جرعات الأشعة الضّارة بمقدار 4 أضعاف مناعة الفئران البالغة. وقد ظهرت نفس النتيجه على الأسماك، كما بينت تجارب أخرى أن الكائنات المجهرية التي سبق وأن عُرّضت للإشعاع صارت لديها مناعة ضد كميات الأشعة الضارة. واتضح كذلك أن التعرض إلى كمية ضئيلة جداً من الأشعة السينية أو أشعة جاما لفترة طويلة يزيد من سرعة شفاء الجروح، حيث شفيت جراح الأرانب والكلاب المشععة بشكل أسرع والتحمت كسور عظام الأرانب

المشعة بشكل أسرع في الأرانب التي تعرضت لكمية ضئيلة جداً من الأشعة يومياً طوال أيام شفائها. كما اتضح أن التعرض إلى كمية ضئيلة جداً من الأشعة السينية أو أشعة جاما لفترة طويلة يزيد من مقاومة الكائنات الحيّة لعدوى الكثير من الأمراض الجرثومية، ويزيد عدد الخلايا القاتلة للجراثيم في أجسام دودة الحرير والفئران المشعة والبعوض والذباب المشع. إتضح كذلك أن التعرض إلى كمية ضئيلة جداً من الأشعة السينية أو من أشعة جاما لفترة طويلة يعطي الكائن الحي مقاومة ضد التسمم، حيث تم تشعيع مجموعة من الأرانب، ثم حقنت جميع الأرانب بسم الدفتريا، فاتضح أن الأرانب المشعة عاشت فترة أطول من الأرانب غير المشعة، وفي تجربة أخرى وجد أن جميع الأرانب المشعة عاشت بينما ماتت جميع الأرانب غير المشعة .

ومن الجدير بالذكر أن الفائدة العظمى للتعرض إلى كميات ضئيلة جداً من الأشعة يمكن تأكيدها من خلال أقسام معالجة الأورام السرطانية في أي مستشفى عصري، حيث أن المرضى يتلقون جلسات علاجية يتضاءل من خلالها الورم السرطاني تدريجياً نتيجة تعرّضه لكميات ضئيلة من الأشعة السينية أو أشعة جاما. إن أحداً لا يمكنه إنكار أن التعرض لكمية كبيرة من الأشعة الذرية يؤدي إلى الموت فوراً أو خلال بضعة أيام، ولا أحد يناقش أن التعرض لكمية متوسطة من الأشعة يمكن أن يؤدي إلى ورم سرطاني أو الإصابة بسرطان الدم، ولكن من الأمور العجيبة أن تعريض كامل الجسم لكميات ضئيلة جداً من الأشعة السينية أو أشعة جاما يخفض من نمو الورم السرطاني بل ويقضي عليه. إن الكميات الضئيلة من الأشعة التي تعرض لها فئران أدت إلى تخفيض إصابتها بسرطان الدم بمقدار 5 مرات .

وربما يكون أوضح دليل على التأثير المفيد للكميات الضئيلة جداً من الأشعة الذرية على الإنسان هو سكان ولاية كيرالا الهندية. فمن المعروف أن هذه الولاية تشتهر بأن كمية الأشعة الطبيعية فيها تعادل عشر أضعاف الخلفية الإشعاعية الطبيعية في باقي مناطق العالم، ومع ذلك لا توجد زيادة في إصابة سكانها بأمراض السرطان عن باقي سكان العالم. وقد اكتشف العديد من الباحثين الأمريكيين نتيجة مفاجئة جداً في الولايات المتحدة، فهناك سبع ولايات تعد الخلفية الإشعاعية الطبيعية فيها الأكثر من بين كافة الولايات الأمريكية الأخرى، وقد اتضح أن عدد المتوفين من سكان هذه الولايات بسبب السرطان أقل بكثير من عدد المتوفين بذات المرض من سكان ولايات الساحل الشرقي التي يعادل مستوى الخلفية الإشعاعية الطبيعية فيها نصف مستواها في هذه الولايات السبع. بل اتضح أن عدد الوفيات بسبب الأمراض أقل في هذه الولايات، خصوصاً أمراض الأوعية القلبية. إلاّ أن أغرب التأثيرات الناتجة عن التعرض إلى كمية ضئيلة جداً من الأشعة السينية أو أشعة جاما لفترة طويلة هو زيادة طول العمر، فقد ازداد عمر ذبابة الندى والهيدرا البحرية وأنواع من القوارض بشكل كبير بعد تعرضها للإشعاع، كما ازداد طول عمر الفئران وخنازير غينيا وبعض الحشرات المشععة بأكثر من 120٪، وازداد طول عمر الجرذان بأكثر من 120٪ ولكن من المؤسف أن هذا التأثير لم يدرس بعد في الإنسان، ومن المثير أن تكشف لنا الأبحاث يوماً ما أن التعرض إلى كميات ضئيلة جداً من الأشعة لفترة طويلة من الزمن يمكن أن يطيل من فترة الشباب ! إن ذلك اليوم سيكون يوم تحقيق حلم ظلت البشرية تحلم به لقرون طويلة .

وفي الواقع فإن البحوث المنشورة حول فائدة الكميات الضئيلة جداً من الأشعة قليلة جداً ومتفرقة، مع أنها منشورة في أكثر من مجلة علمية منذ أكثر من 35 سنة. إن كل هذا يفرض علينا مفهوماً قد يكون غير مألوف للأشعة، وهو أن الجرعات الكبيرة منها تضر بينما تكون الجرعات المنخفضة جداً مفيدة، بل وربما ضرورية لبعض عمليات الجسم بحيث لا يستقيم حاله دونها. كل هذا يضع الأشعة الذرية بالنسبة للكائنات الحية ضمن مجموعة من أشياء كثيرة تعد ضارّة حينما تؤخذ بكميات كبيرة لكنها تكون غير ضارة وأحياناً ضرورية حينما تؤخذ بكميات ضئيلة. من هذه المواد : عدد من المعادن مثل الحديد والنحاس والكادميوم والسلينيوم، إنها معادن معروف عنها أنها من مكونات الجسم البشري الأساسية التي يصاب الجسم ببعض الأمراض إذا انخفضت مستوياتها عن مستوى ثابت في الجسم، لكن التراكيز العالية منها تعد سماً قاتلاً للجسم نفسه. واللّقاح الطبي عبارة عن إدخال جراثيم ضعيفة وقليلة من مرض قاتل يحفز الجسم على تكوين أجسام مضادة تقوي من مناعته تجاه هذه الجراثيم لو هاجمت الجسم بعد ذلك ولكن لو تم إدخال كميات كبيرة من نفس الجراثيم لمات الكائن الحي فوراً. وكذلك الحال بالنسبة للمضادات الحيوية والسكر وضوء الشمس وحرارة طهو الطعام، حيث يمكن إدراجها ضمن تلك المواد المفيدة التي تكون ضارة حينما تؤخذ بكميات كبيرة لكنها مفيدة بكميات صغيرة .

إن الزمن كفيل بتغيير النظرة العامة إلى الإشعاعات الذرية التي تستخدم حاليا في الحياة اليومية بشكل عادي تماماً مثلها مثل أي إنجاز بشري آخر كالضوء والصوت والمغناطيسية. إنها تستخدم مثلاً في مقاومة التلوث وفي الصناعة وفي حفظ ودراسة الآثار والمخطوطات وفي قياس خصوبة التربة والبحث عن أماكن المياه الجوفية وحتى في الفنون التشكيلية وفي الطب وفي مكافحة الجريمة، وغير ذلك من الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية كأحد خيارات العصر الحديث .

**م. عبد الحكيم عامر الطويل**
**مركز البحوث النووية**
**الجماهيرية الليبية**

# معجلات الجسيمات المشحونة ذات الطاقة العالية
# (الجزء الرابع)*

## أولاً - المعجلات الدورية

تناول الملف السابق نشره في العدد الثالث من المجلد العاشر لعام 1998 حول «معجلات الجسيمات المشحونة» التطور التاريخي لتكنولوجيا المعجلات، ومعجلات الطاقة المنخفضة ذات التيار المستمر، وتطوير المعجلات الإلكتروستاتية. ونتناول في هذا المقال شرح المعجلات ذات الطاقة العالية، وهي جميعاً - باستثناء المعجلات الخطية - من فصيلة المعجلات الدورية التي تأخذ في تعجيلها مساراً دائرياً. ونتدرج في معالجة هذا الموضوع بدءاً من معجل السيكلوترون ومروراً بالسيكلوترون المتزامن، وانتهاء بأكبر المعجلات طاقة وهو السنكروترون، إلى أن نأتي إلى المعجلات المتصادمة (العملاقة) وذلك في تسلسل تاريخي مع التحديد الحادث في طاقة كل معجل لأسباب هندسية أو فيزيائية أو اقتصادية.

## السيكلوترون

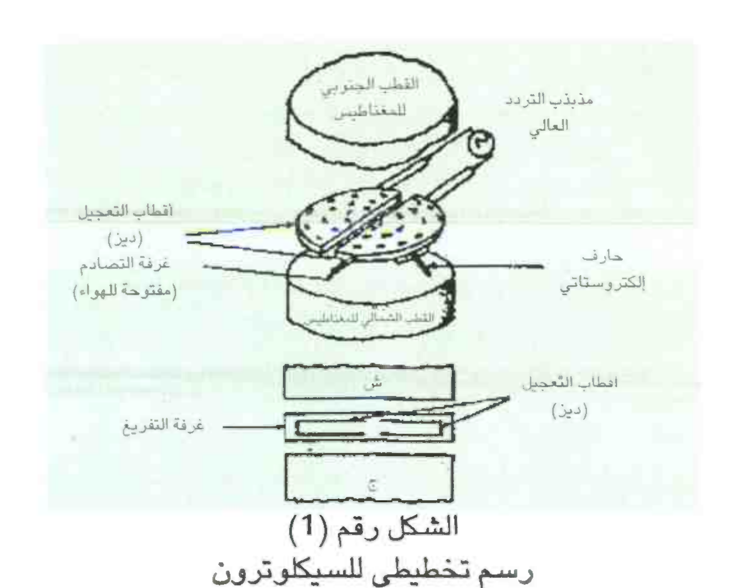
يعتمد مبدأ عمل السيكلوترون على مبدأ الرنين المغناطيسي (Magnetic Resonance)، حيث سمي معجل الرنين المغناطيسي. اقترح هذا المبدأ «لورانس» وأجرى عدة محاولات تكللت بالنجاح في عام 1930، حيث أثبت لورانس تزامن دوران الجسيمات في رنين مع فولطية التعجيل المترددة تحت تأثير مجال مغناطيسي يستخدم قطباً قطره 27 بوصة، وفي عام 1933 نجح في تعجيل دوترونات إلى طاقة قيمتها 5 ميجاإلكترون فولط، ثم في تطوير ثان استخدم مغناطيساً بقطر 37 بوصة ليحصل على طاقة 8 ميجاإلكترون فولط. وفي جامعة كاليفورنيا استكمل لورانس بناء سيكلوترون 60 بوصة بدأ بطاقة 16 ميجاإلكترون فولط. ثم طوّره ليعطي دوترونات ذات طاقة 20 ميجاإلكترون فولط، وأيونات هليوم طاقتها 40 ميجاإلكترون فولط. وقد اعتبر هذا النوع نمطاً للسيكلوترون الحديث الذي كان نتاج مجهود مشترك لعدة مختبرات. واعتباراً من عام 1939 تم بناء سيكلوترونات كثيرة بوساطة عدة مختبرات وشركات تجارية في أجزاء متفرقة من العالم. وتجدر الإشارة إلى أن الكثير من التعليلات النظرية الشاملة لمبدأ عمل السيكلوترونات وتركيز الأيونات كهربائياً ومغناطيسياً وديناميكية الجسيمات، قد وفرت قاعدة رصينة لتصميم السيكلوترون الحديث ذي الطاقة العالية والكثافة الأيونية الكبيرة.

ولعلّ تطوير مصادر الأيونات متضاعفة الشحنة قد أعطت السيكلوترونات أهمية خاصة فيما يتعلق باستخدامها كمعجلات للأيونات الثقيلة، فتعجيل الأيونات متضاعفة الشحنة يعطي طاقة بقيمة مضاعفة للأيون فردي الشحنة الذي يكون له نفس نسبة «الشحنة إلى الكتلة» ومستخدمة نفس قيم التردد والمجال المغناطيسي.

## مبدأ تشغيل السيكلوترون

تحقن الأيونات من مصدر أيونات يقع في مركز السيكلوترون بحيث تعبر عدة مرات فجوة بين قطبين مجوفين من النحاس مركّزين داخل غرفة تفريغ موضوعة بين أقطاب كهرمغناطيسية بشكل تقريبي. وتشكل الأقطاب مثل الحرف D، وهي لذلك يشار إليها باسم «الديز»(Dees)، شكل رقم (1)، هذا ويوضع جهد متردد بذبذبة عالية بين «الديز» بحيث تكتسب الأيونات طاقة متطابقة لقيمة هذا الجهد، وتدخل الأيونات قطب التعجيل D - الذي يعتبر محجباً من تأثير المجال الكهربائي، ثم تتبع مساراً نصف دائري ناتج عن التفاعل مع المجال المغناطيسي العمودي. وبعد ذلك تدخل الأيونات الفجوة الواقعة في الاتجاه المضاد في الوقت الذي يكون فيه المجال الكهربائي قد عكس اتجاهه، أي بعد 180° ويستقبل كمية مساوية من الطاقة، ثم يدخل القطب (D) الثاني ليرسم مساراً ثانياً نصف دائري بقطر أكبر.

* أنظر «ملف العدد : معجلات الجسيمات المشحونة» - نشرة الذرة والتنمية - المجلد 10 العدد 3 عام 1998 .




الشكل رقم (1)
رسم تخطيطي للسيكلوترون

وهكذا تواصل الأيونات حركتها اللولبية تحت ظروف الرنين حيث تكون فترة دوران الأيون مساوية للزمن الدوري الخاص بمجال تردد الأمواج الراديوية، إلى أن تصل الأيونات إلى المحيط الخارجي للأقطاب مزودة بطاقتها النهائية. هذا ويمكن الحصول على تردد الدوران بمساواة القوة المغناطيسية بالقوة الطاردة المركزية .

## التركيز المغناطيسي والكهربائي في السيكلوترون

إن مبدأ الرنين الأساسي ينطبق على الحالة المثالية للجسيمات التي تأخذ مسارها في المستوى الأوسط للسيكلوترون والتي تعبر فجوة التعجيل في تزامن مضبوط مع مجال تردد الأمواج الراديوية، ومع ذلك تنحرف معظم الأيونات عن هذه الظروف المثالية ولكنها تؤدي ذبذبات حول المستوى الأوسط بما يجعلها تخضع لنوع من التقييد حول هذا المستوى (Ion focusing) .

وفي حالة المجال المغناطيسي المتناسق تكون خطوط المجال متوازية وينعدم الانحراف الرأسي أو التركيز، ويلاحظ أن التركيز المغناطيسي ينتج من الانخفاض البسيط لقيمة المجال المغناطيسي مع ازدياد نصف القطر، وهذا يعود إلى انبعاج (Fringing) خطوط المجال الذي يعزز بتشكيل أوجه القطب بحيث تتسع الفجوة كلما ازداد نصف القطر، فالجسيمات التي تنحرف عن المستوى المتوسط تعاد بوساطة قوى الاسترجاع الناتجة عن مركبة المجال القطرية التي تزيد مع كل من نصف قطر المغناطيس والإزاحة عن مدار التوازن. كما أن هناك تركيزاً كهربائياً (Electric Focusing) تحدثه خطوط القوى الكهربائية خلال الفجوة عندما تتقاطع مع مسار الجسيمات .

### أ ـ الحد من طاقة السيكلوترون

إن حالة الرنين، أو التزامن، بين تردد دوران الجسيمات المعجلة وتردد مجال التعجيل ذي التردد العالي يحدث لها إعاقة بوساطة تأثيرين يتحدان لتقليل تردد دوران الجسيمات، أولهما الميل القطري السالب للمجال المغناطيسي الذي يلزم لتركيز حزمة الأيونات، وثانيهما الزيادة النسبية لكتلة الجسيم كلما تزايدت الطاقة. وتبعاً لذلك فإن طاقة قصوى تبلغ 25 ميجاإلكترون فولط (للبروتونات) تضع حداً لزيادة الطاقة في السيكلوترونات العادية. وقد أمكن التغلب على هذا التحديد فيما يسمى بالسيكلوترون المتزامن (Isochronous Cyclotron) وفي السنكروسيكلوترون .

### ب ـ السيكلوترون المتزامن ذو الطاقة المتغيرة

إذا أريد تحقيق الأحوال الأفضل من أجل عمل سيكلوترون ناجح ذي طاقة عالية فينبغي مواجهة مطلبين أساسيين متضادين، يتمثل الأول في أنه يجب زيادة المجال المغناطيسي كلما ازداد نصف القطر وذلك للاحتفاظ بسرعة زاويَّة ثابتة للجسيمات حتى يمكن أن نتغلب على التزايد النسبي للكتلة وقدرها 1٪ لكل 10 ميجاإلكترون فولط في حالة البروتونات، أما المطلب الثاني فيتمثل في تقييد مدارات الجسيم إلى جوار المستوى المتوسط ولهذا يجب أن يقل المجال المغناطيسي مع زيادة نصف القطر. ففي السيكلوترونات العادية والسنكروسيكلوترونات تكون التضحية بالسرعة الزاويَّة الثابتة حتى يمكن تلبية المطلب الأخير. وفي عام 1938 أوضح «توماس» نظرياً أنه ينبغي أن يكون ممكناً مواجهة هذه المتطلبات غير المتنافسة على ما يبدو في وقت واحد. ويمكن أن يتم ذلك بالتخلي عن التصور بأن المجال المغناطيسي يجب أن يقتني تماثلاً دورانياً، وعوضاً عن ذلك يمكن تغيير المجال المغناطيسي بدلالة السمت (azimuth) بينما تزيد قيمته المتوسطة تجاه الحافة الخارجية .

ونظراً للتحديد الذي يفرضه مصدر أيونات السيكلوترون البسيط ذي القطبين على شحنة الجسيمات المعجلة، وحتى يمكن مضاعفة الشحنة وزيادة كفاءة السيكلوترون المتزامن، يستخدم حاقن أيونات أو معجل أمامي (Pre-accelerator) يقذف حزمة أيوناته المعجلة في السيكلوترون المتزامن بطاقة أقل نسبياً من طاقة السيكلوترون، ويتيح هذا النظام استخدام مصدر أيونات خارج السيكلوترون ـ وليس داخله مثلما يحدث في

السيكلوترون ذي القطبين بما يجعل صيانة المصدر وتطويره أمراً ميسراً. ويمكن بهذا التصميم أن تصل أيونات الأرجون ثنائية الشحنة مثلاً إلى شحنة قيمتها 10 وبكثافة أعلى - الميزة الأخرى أن مدى تغير الطاقة يكون واسعاً (من 10 إلى 100٪) مع إمكانية استخدام تشكيلة كبيرة من الأيونات الثقيلة.

وقد قامت شركات مختلفة ومختبرات للبحوث بتصنيع سيكلوترونات التزامن بتصاميم مختلفة، فأمكن الحصول على طاقات بمئات الملايين من الإلكترون فولط بغير تحديد فيما عدا التكلفة. وكان التطوير الحديث الآخر استخدام المغناطيسات مفرطة الموصلية (Superconducting magnets) لسيكلوترونات التزامن حيث أن ذلك يؤدي إلى زيادة قيمة المجال المغناطيسي ويساعد على تقليل حجم السيكلوترون إلى حوالي نصف حجم السيكلوترون المستخدم لمغناطيس عادي بما يؤدي إلى توفير كبير في تكلفة المعجل.

### ج - السنكروسيكلوترون

لقد رأينا في السيكلوترون أن الذي يحد من زيادة الطاقة هو الارتفاع النسبي في كتلة الجسيمات المعجلة ممّا يتسبب في خروجها عن طور فولطية التعجيل المترددة الموضوعة خلال أقطاب السيكلوترون (الديز). على أن الزيادة غير المحددة في الطاقة قد جُعلت ممكنة بالمبدأ الذي اكتشف في نفس الوقت تقريباً بوساطة عالمين كل على حدة: «فيكسلر» في الإتحاد السوفيتي و«ماكميلان» في أمريكا. وطبقاً لمبدئهما عن ثبات الطور (Phase stability)، فإن الجسيمات التي لها أخطاء طفيفة في الطور أو الطاقة تستمر في التعجيل مع وجود ذبذبات ثانوية غير هامة في الطاقة والطور حول القيمة الصحيحة للطاقة ولطور التوازن. وينطبق هذا المبدأ على ثلاثة أنواع للمعجلات: المعجل الخطي، والسنكروترون والسنكروسيكلوترون.

وبناءً على ذلك فإنه يمكن في السنكروسيكلوترون أن نزيل حد الطاقة الأقصى بما يمكّن من تعجيل الأيونات على نحو غير محدد لو أن التردد المستخدم يتغير ليطابق بالضبط تردد دوران الأيون. فإذا ما تغير التردد دورياً فإن تجميعاً قصيراً للأيونات سيعجل إلى طاقة أعلى في كل اندفاعة للتردد بما ينتج عنه تعاقب للإنفجارات التي تحدث عند تردد التعديل. وهكذا تنخفض دورة الشغل الفعّالة بشدة لتؤدي إلى قيمة متوسطة لتيار الأيونات الخارجية أقل بكثير (حوالي 1٪) من التيار الخارج في السيكلوترون التقليدي. ولعلّ هذا هو ثمن تجنّب الحد من الرنين من أجل تردد ثابت، ولقد صممت السنكروسيكلوترونات بطاقات للبروتونات تغطي مدى واسعاً من 100 إلى 750 ميجاإلكترون فولط.

### الحد من طاقة السنكروسيكلوترون

لا يوجد تحديد للطاقة التي يمكن الحصول عليها من السنكروسيكلوترون من الناحية النظرية شريطة أن يزاد حجمه وأقطاب «الديز» والمغناطيس إلى نصف القطر المطلوب للحزمة الأيونية. ويذكر هنا أن وزن المغناطيس وتكلفة الحديد تزيد تقريباً مع مكعب قطر القطب. وعند الطاقات غير النسبية تتغير طاقة الجسيم مع مربع نصف قطر المدار، وعليه يكون وزن المغناطيس للسيكلوترونات الصغيرة مقدراً على وجه التقريب بالطاقة مرفوعة لأس 3/2. غير أنه في حالة الطاقات العالية تكون طاقة الجسيم متناسبة تقريباً مع نصف قطر المدار، وعليه يكون وزن المغناطيس متناسباً مع الطاقة مرفوعة لأس 3. وتعتبر هذه الزيادة السريعة في الوزن والتكلفة المحدّد الرئيسي للطاقة القصوى من الناحية العملية للسنكروسيكلوترونات.

ولعلّ المشاكل الوحيدة المتعلقة ببناء السنكروسيكلوترون فيما فوق 750 ميجاإلكترون فولط ما هي إلاّ مشاكل تكلفة لا مبرر لها تعود إلى الوزن الزائد للمغناطيس مصمت القلب، ويكمن الحل الوحيد لمشكلة الطاقات الأعلى في المعجلات التي تستخدم مغناطيسات حلقية الشكل ونصف قطر ثابت المدار، هذا هو السنكروترون الذي يعتمد مرة أخرى على مبدأ ثبات الطور.

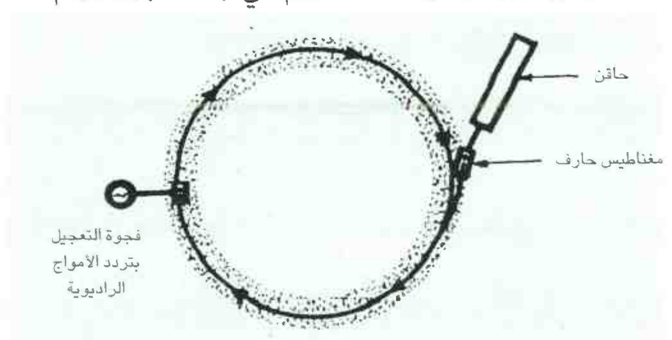
## ثانياً - معجلات السنكروترون

لقد رأينا كيف تتحدد زيادة الطاقة إلى ما بعد حد معين لسبب أو لآخر في مختلف المعجلات: ففي المولدات الإلكتروستاتية كان التحديد يرجع إلى انهيار العزل عند المجالات الكهربائية العالية، وفي السيكلوترون كانت الزيادة النسبية في الكتلة هي التي دمرت صحة سريان مبدأ الرنين عند الطاقات العالية. وفي البيتاترون، يكون التحديد بسبب فاقد الإشعاع بالرغم من أنه يعمل في مدى المائة ميجاإلكترون فولط. أما السنكروسيكلوترون، فمع أنه لا يوجد تحديد نظري للطاقة، فإن التكلفة هي التي وضعت عامل تحديد خطير عند طاقات في مدى البليون

إلكترون فولط. ومن ناحية أخرى فإن التحديد المفروض على المعجلات الخطية هو متاعب طولها غير العملي فضلاً عن تحديد التكلفة في مدى البليون إلكترون فولط. ولا تستطيع أي من هذه الماكينات الاحتفاظ بالتعجيل إلى طاقات عالية بدون تحديد. وكما ذكرنا فإن الزيادة غير المحددة للطاقة كانت ممكنة باكتشاف مبدأ ثبات الطور الذي جعل من الممكن ابتكار سنكروترون البروتونات على اعتبار أنه أوج ذروة معجلات «الطور المستقر» والذي يمنح أعلى طاقة تم تحقيقها. إنها تمثل قمة التطور في تكنولوجيا المعجلات فيما يتعلق بمثل تلك الأساليب الفنية المعقدة في جميع فروع الهندسة، متضمنة موهبة الفيزيائيين والنظريين لتأكيد مثل هذا التوافق السليم والدقة العالية لتشغيل العديد من الأنشطة المعقدة التي تجعل المحطم الذري (السنكروترون) يعمل كوحدة واحدة. ولقد بنيت عدة سنكروترونات للبروتونات في مدى طاقة فوق واحد بليون إلكترون فولط وهي فعلاً في حالة تشغيل، لدرجة أن مبادىء تشغيلها مفهومة الآن جيداً.

## مبدأ تشغيل السنكروترون

يتكون سنكروتون البروتونات من ثلاثة أجزاء أساسية: (I) حاقن له القدرة على إنتاج حزمة من أشعة البروتونات جيدة التركيز، (II) مغناطيس حلقي يمكن تنبيض مجاله المغناطيسي من صفر إلى عدة آلاف الجاوس في زمن قصير، (III) فجوة رنانة (Resonant cavity) تستطيع إنتاج فولطية تردد الأمواج الراديوية، على أن يحتفظ بالتردد في تزامن مع تردد دوران الجسيم في المغناطيس، ويوضح شكل رقم (2) مكونات السنكروترون البسيط المستخدم في جامعة برمنغهام.




**الشكل رقم (2)**
**رسم تخطيطي لسنكترون جامعة برمنغهام**

ويكون تسلسل التشغيل كما يلي: تزود القدرة إلى المغناطيس حتى يبدأ المجال المغناطيسي في الارتفاع، تحقن البروتونات حالما يكون المجال المغناطيسي قد توصل إلى قيمة تستطيع عندها البروتونات لتوها أن تدور حول الماكينة. ويمكن الاحتفاظ بطاقة البروتونات في تدرج مع المجال المغناطيسي إلى أن يصل هذا المجال إلى قيمته القصوى. وعند ذلك يمكن سحب البروتونات ذات الطاقة من الماكينة لاستخدامها كحزمة أشعة البروتونات ذات الطاقة العالية، أو أنها يمكن أن توجه على هدف في داخل السنكروترون حتى يمكن استخراج الجسيمات الثانوية من هذه الأهداف.

هذا هو مبدأ تشغيل السنكروترونات بصفة عامة، مع أنه يوجد اختلافات عديدة ممكنة في إطار المبدأ العام حيث يكون الخلاف الرئيسي بين السنكروترونات في الطريقة التي تركز بها حزمة الأشعة الدوارة حتى تحتفظ بها في منطقة جيدة التعريف. على أن مثل هذا التقييد للحزمة في منطقتها إنما يعود إلى ذبذبات الجسيم رأسياً وقطرياً.

## معجلات الطاقة فائقة الارتفاع

إن العديد من الاكتشافات المثيرة للغاية للجسيمات الغريبة التي تحققت في المعجلات في مدى طاقة العشرات من البليون إلكترون فولط قد شجعت العلماء على البحث عن كثافة للحزمة أكبر بكثير وطاقة أعلى من أجل الهدف النهائي في محاولة أكبر للتعرف على الجسيمات تحت النووية، ومن أجل معرفة حقيقية للجسيمات الأولية وللكون الذي حولنا. ويلاحظ أن كل جيل جديد من المعجلات التي تعطي مدى جديداً للطاقة قد هيأ لنا نظرة أعمق في طبيعة الجسيمات الأساسية، فباكتشاف «الميزونات» و«الهيبرونات» والجسيمات الغريبة الأخرى ذات العمر القصير، وبمعرفة خواصها، رأينا تحولات جديدة بين هذه الحالات المثارة من المادة، كما لوحظت مبادىء جديدة مثل خاصية «الحفاظ على الغرابة» (Conservation of strangeness). علاوة على أن هناك آراء جديدة مطلوبة في نظريات القوى النووية. وقد أثيرت التساؤلات عن صحة القوانين الطبيعية الأهم من الناحية الأساسية. وعلاوة على ذلك لوحظ أن تفاعلات النترونات، التي لها اهتمام نظري جسيم، تتطلب تدفقاً أعلى بكثير من التدفق الخارج من السنكروترونات المتوفرة وذلك من أجل دراسة تشملها العناية والدقة. ولقد قدمت بعض الأفكار والمبادىء لتصميم جيل جديد من المحطمات الذرية في مدى طاقة المئات من البليون إلكترون فولط، حيث وجد أن الاقتراحات الأكثر واقعية للحصول على معجلات ذات كثافة مفرطة وطاقة «فوق العالية» تتأتى

بأن تنبسط المبادئ المستخدمة في معجلات الطاقة العالية السابقة مستخدمين التقنية المتقدمة الحديثة في المجالات الهندسية المتعددة. ولقد جاءت مجموعتان دراسيتان من العلماء بأفكار عن تراكيب لمحطات عملاقة تعتبر متشابهة بصفة أساسية، إحداها في معمل فيرمي القومي للمعجلات (FNAL)، أو ما يسمى اختصاراً «فيرمي لاب» بأمريكا وثانيها في «سيرن» بسويسرا.

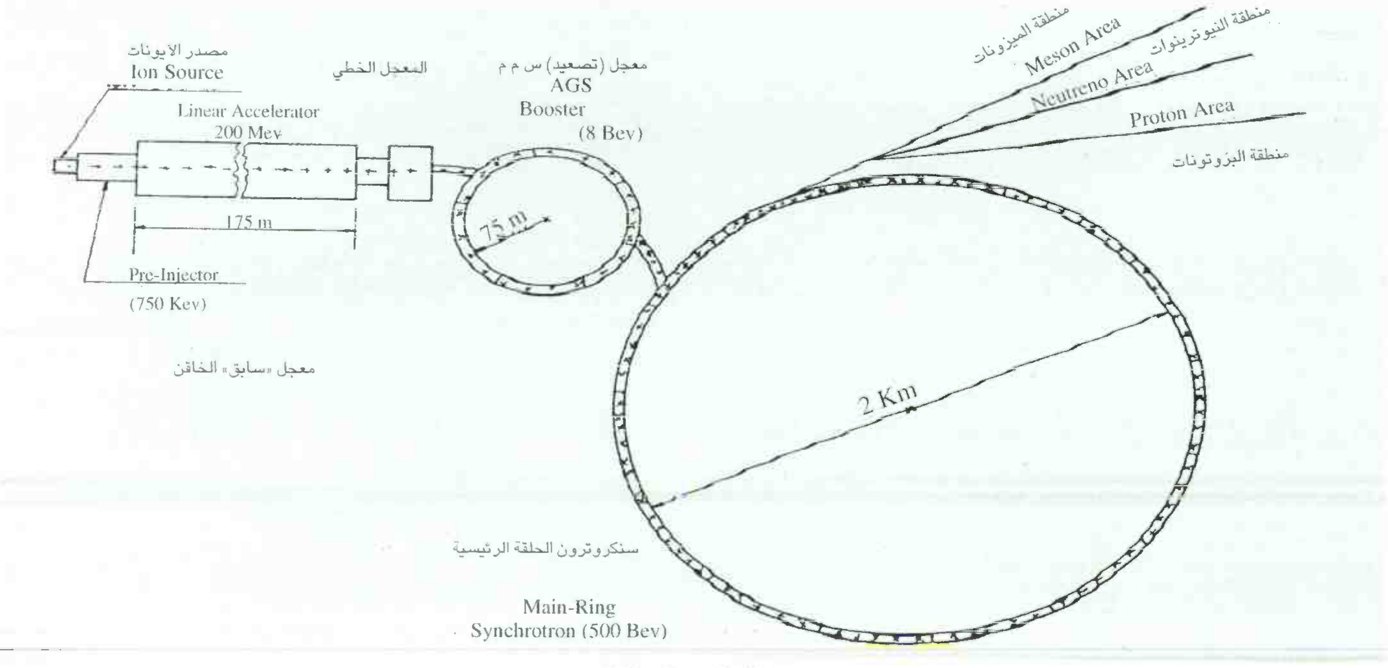
## معجل «فيرمي لاب» ذو الطاقة العالية

لقد صمّم معجل «فيرمي لاب» للبروتونات بطاقة عالية ليعطي في الأصل طاقة قدرها 200 بليون إلكترون فولط، وقد انتهى البناء الرئيسي للمعجل في عام 1972، أي أكثر قليلاً من ثلاث سنوات بعد بدء العمل، بطاقة قدرها 400 بليون إلكترون فولط، أي ضعف الطاقة المقترحة في تصميمه. وفي عام 1976 رفعت الطاقة إلى 500 بليون إلكترون فولط ممّا جعل معجل «فيرمي لاب» أكثر المحطمات الذرية قوة في العالم آنذاك.

وهو يتكون من أربع معجلات على التوالي (شكل رقم 3) : يتكون المعجل المسبق من مصدر الأيونات ومصدر تغذية قدرة الفولطية العالية 0,75 ميجافولط وعمود للتعجيل حيث تعجل البروتونات إلى طاقة 750 كيلو إلكترون فولط. ومن هذه النقطة توجه حزمة البروتونات إلى معجل خطي خلال فجوة تردد عال لضم البروتونات (buncher). يتكون المعجل الخطي من تسع فجوات للتعجيل يحدث رنينها عند 210 ميجا هرتز بطول 175 متر، وذروة للقدرة بقيمة 37 ميجاواط. على أن التعجيل يتحقق حالما تمر حزمة البروتونات خلال مجالات كهربائية شديدة تتولد على شكل موجات «واقفة» (Standing waves) بين 295 أنبوبة «تدفق» في الفجوات. هذا، وتحتوي كل أنبوبة تدفق على مغناطيس رباعي الأقطاب ليتحكم في حجم الحزمة وفي حركياتها خلال عملية التعجيل. وعند تردد أساسي نابض قيمته 15 هرتز يعجل المعجل الخطي حزمة البروتونات من 750كيلو إلكترون فولط إلى 200 ميجاإلكترون فولط.

وهناك إضافة حديثة للمعجل الخطي هي وحدة علاج الأورام السرطانية الواقعة بين الفجوة رقم 4 والفجوة رقم 5 حيث تثنى حزمة البروتونات 90° عند طاقة 66 ميجاإلكترون فولط وتوجه إلى الوحدة العلاجية عندما لا تكون الحزمة مستخدمة لأي تعجيل إضافي. والتطبيق الآخر لحزمة الـ 200 ميجاإلكترون فولط هو تجربة للتصوير بأشعة البروتونات. هنا توجه البروتونات التي تم انحرافها والقادمة من هدف متحرك إلى معدات الأبحاث دون التداخل مع بحوث فيزياء الطاقة العالية العادية.

وحالما تنقل حزمة البروتونات إلى مُصعِّد الطاقة (booster)، المعجل التالي، تمر خلال فجوة تردد الأمواج الراديوية «المفرقة» (Debuncher) من أجل تقليل انتشارية كمية الحركة. أما المصعد فهو عبارة عن سنكروترون سريع الدورات متردد الميل ذي نصف قطر 75 متر. وهو




**الشكل رقم (3)**
**رسم تخطيطي لمعجل «فيرمي لاب»**

يحتوي على 96 مغناطيس طول كل منها 10 قدم ولها خواص تجميع وثني الحزمة. على أن تعجيل الحزمة الأيونية ينجز بوساطة مجالات كهربائية تتولد بفجوات تردد الأمواج الراديوية موزعة على 18 موقعاً. ويستغرق التعجيل حوالي 33 ملّي ثانية حيث تزيد سرعة البروتونات بما يؤدي إلى تغيير السرعة، وهكذا يندفع تردد الأمواج الراديوية من 30 إلى 53 ميجاهرتز مع تعجيل الحزمة من 200 ميجا إلكترون فولط إلى 8 بليون إلكترون فولط. ومن المصعد يمكن نقل الحزمة إلى جهاز «امتصاص الطاقة» (Dump) أو إلى المعجل الرئيسي الذي يدعى الحلقة الرئيسية. وهي سنكروترون بنصف قطر كيلو متر واحد، وتحتوي على 744 مغناطيس ثنى (Bending magnets) و240 مغناطيس رباعي الأقطاب (Quadrupole magnets) كما أن مغذيات القدرة، وأنظمة المياه، ومعدات السطح البيني للحاسبات الآلية والأجزاء المعدنية اللازمة لها تقع في ثلاثين مبنى خدمات موزعة على مسافات متساوية حول الحلقة. ويبلغ متوسط معدل التعجيل حوالي 125 بليون إلكترون فولط/ثانية، كما أن التشغيل العادي يكون عند 400 بليون إلكترون فولط بمسطح ثانية واحدة للنبضة وزمن دورة مقداره 11 ثانية. وقد أمكن التوصل إلى كثافة حزمة البروتونات المسجلة $2,5 \times 10^{13}$ بروتون / نبضة في الحلقة الرئيسية.

ويجدر بالذكر أن التشغيل السهل للمعجل وللحزم الأيونية الخارجية يتحقق بوساطة خمسة من القائمين بالتشغيل في حجرة التحكم الرئيسية الذين يتحكمون في جميع حزم الأشعة إلى الأهداف الأولية لكل منطقة تجريبية. وفي هذا الصدد نرى أن التحكم عن بعد لهذه المناطق يكون ممكناً بسبب الوضع المبدئى لنظام تحكم للحاسب الآلي الإلكتروني مع حاسبات آلية مصغرة (Minicomputers) وذلك في شبكة تخطيطها دقيق بما يجعل كل المعلومات متاحة للقائمين بالتشغيل.

وللمقارنة بين سنكروترون البروتونات 500 بليون إلكترون فولط في «فيرمي لاب» وسنكروترون 400 بليون إلكترون فولط في «سيرن»، فإن الماكينتين تبدوان متشابهتين إلى حد بعيد، وحتى تكلفة المشروعين كادت أن تتساوى. ومع ذلك توجد بعض الفروق التي نذكرها فيما يلي:

1 ـ في ماكينة «فيرمي لاب» يغذي البروتونات للحلقة الرئيسية سنكروترون مصعد ومعجل خطي حاقن، في حين تستخدم ماكينة «سيرن» السنكروترون متردد الميل 28 بليون إلكترون فولط والذي يخدم البحوث «بسيرن» ليغذي الحلقة الرئيسية.

2 ـ تردد نظام التعجيل في الحلقة الرئيسية لماكينة «فيرمي لاب» هو 53 ميجاهرتز، بينما التردد في ماكينة «سيرن» 200 ميجاهرتز.

3 ـ بنى نفق ماكينة «فيرمي لاب» بطريقة «القطع والملء» (Cut and fill) بالقرب من سطح موقع منبسط، في حين وضعت ماكينة «سيرن» عميقاً تحت الأرض في نفق محفور في الصخرة العالية في سفح موقع جبلي. ونتيجة لذلك توجد عدة مداخل أفقية إلى نفق الحلقة الرئيسية، كما توجد أعمدة رأسية يتراوح عمقها بين 25 و60متراً.

4 ـ يجري التحكم في سنكروترون «سيرن» بوساطة نظام للحاسب الآلي الإلكتروني، مع عدم تواجد أرفف للمعدات الإلكترونية التي يراها المرء عادة في غرفة التحكم ـ بل ثلاث مناضد فقط ذات راسمات للحاسب الآلي ولوحات اللمس حيث يمكن تشغيل الماكينة بأسرها من أي واحد منها.

ويبلغ طول محيط سينكروترون «سيرن» سبعة كيلو مترات. وأخيراً تحقق الحصول على حزمة للأيونات الدوارة بطاقة 400 بليون إلكترون فولط للمرة الأولى في 17 يونيو 1976، وقد استغرق البناء خمس سنوات وأربعة شهور بعد اعتماد المشروع. وجرى التطوير التقني لبناء معجلات ذات طاقات أعلى بكثير من 500 بليون إلكترون فولط.

لقد لعب كل من المحطم النووي في «فيرمي لاب» وفي «سيرن» دوراً رئيسياً في الكشف عن بعض خفايا المادة. وقد كان هناك اكتشافات مثيرة للعديد من الجسيمات «تحت ـ النووية» مثل «الباريون المفتون» (Charmed baryon) المكتشفة في عام 1967. كذلك فإن الاكتشافات الأكثر إثارة لجسيم جديد «تحت ـ النووي» في «فيرمي لاب» كان في مايو 1977 والذي سمي «إبسيلون» وهو يعتبر أثقل الجسيمات تحت النووية المكتشفة، فكتلته أثقل بأكثر من عشرة أضعاف كتلة البروتون.

وبهذه الاستمرارية للاكتشافات يحاول العلماء تطوير نظريات أساسية، وفي نفس الوقت يستخرجون الكثير من الأشياء التي يكتشفونها في تجارب فيزياء الطاقة العالية. ولا تزال التساؤلات تثار عن طبيعة المادة، لذلك فإن المحاولات مستمرة في تجارب على فيزياء الطاقة العالية لإماطة اللثام عن متناهيات الصغر في الذرة واللانهائي للكون.

**أ. د. محمد عزت عبد العزيز**
**أستاذ متفرغ**
**بالمركز القومي للأمان النووي**
**والرقابة الإشعاعية**
**هيئة الطاقة الذرية المصرية**

# حوار حول أشعة جاما

## تمهيد

هذا حوار افتراضي بين أستاذ مختص في الفيزياء الإشعاعية وطالب مهتم بهذا المجال، الغاية منه تيسير هذا الجانب من العلوم الإشعاعية وجعله في متناول القارىء العادي .

## مقدمة

**الأستاذ :** لقد مرّ أكثر من قرن على ثلاثة اكتشافات غيّرت مسار العلم في القرن التاسع عشر بعد أن ظن بعض العلماء في ذلك الوقت أن العلم قد بلغ أقصاه وأنه ليس على العلماء إلاّ إعادة التجارب التي أجريت من قبل .

**الطالب :** وما هي هذه الاكتشافات ؟

**الأستاذ :** إنها اكتشاف الأشعة السينية عام 1895 على يد رونتجن واكتشاف النشاط الإشعاعي عام 1896 على يد بكريل واكتشاف الإلكترون عام 1897 على يد طومسن .

**الطالب :** وهل من تناقض بين هذه الاكتشافات وعلوم القرن التاسع عشر ؟

**الأستاذ :** أجل، فقد وقفت الفيزياء في ذلك الوقت عاجزة عن تفسير هذه الاكتشافات، إذ لم يكن هناك ما يفسر نفاذ الأشعة السينية من خلال المواد المعتمة كما تنفذ أشعة الشمس من خلال زجاج النافذة .

**الطالب :** ما هو المقصود بالنشاط الإشعاعي ؟

**الأستاذ :** هو عملية التحلّل الإشعاعي لنوى العنصر المشع بإطلاق نوع أو أكثر من الإشعاعات بصورة تلقائية لتتحول إلى نويدات لعنصر مستقر .

**الطالب :** وما هي الصور التي تتحلل بها النوى المشعة ؟

**الأستاذ :** هناك أكثر من صورة تتحلل بها النوى المشعة إلاّ أن أبرزها هو تحلل جاما وتحلل بيتا وتحلل ألفا .

## أشعة جاما

**الطالب :** ما هو المقصود بتحلّل جاما ؟

**الأستاذ :** هو إحدى الصور التي تتخلص فيها النواة المثارة من الطاقة الفائضة عن حاجتها لتتحول إلى حالة الاستقرار ويتم ذلك بإطلاقها لأشعة جاما .

**الطالب :** وماذا عن تحلّل بيتا وألفا ؟

**الأستاذ :** هي صور تتخلص فيها النواة المثارة من طاقتها الفائضة بإطلاق جسيمات بيتا التي هي عبارة عن الإلكترونات أو جسيمات ألفا وهي نوى ذرات الهليوم .

**الطالب :** وما هي أشعة جاما ؟

**الأستاذ :** تنتمي أشعة جاما إلى الطيف الكهرمغناطيسي وتحتل منه منطقة الترددات العالية جداً (تقريباً من $3x10^{17}$ إلى $10^{21}$ هرتز أو أكبر) فهي لا تتأثر بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي. أما من وجهة نظر فيزياء الكمّ فهي عبارة عن فوتونات، وهي جسيمات متعادلة الشحنة ليس لها كتلة سكونية وتسير بسرعة الضوء ولها طاقة عالية جداً تعمل على تأيين الوسط الذي تمر فيه .

**الطالب :** وما هو الفرق بين أشعة جاما والأشعة السينية ؟

**الأستاذ :** إن الفرق الأساسي بين أشعة جاما والأشعة السينية هو في منشأها. فأشعة جاما تصدر عن نواة الذرة كنتيجة لانتقالها من مستوياتها العالية للطاقة إلى المستويات الأدنى لها، أما

الأشعة السينية فهي تصدر نتيجة للإنتقالات الإلكترونية من مستويات الطاقة العالية (المدارات الخارجية) إلى المستويات الأدنى (المدارات الداخلية). كما قد تنبعث الأشعة السينية نتيجة التوقف المفاجيء للإلكترونات المعجّلة بطاقات حركية عالية جداً .

**الطالب** : كيـــف ؟

**الأستاذ** : إن للطاقة عدة صور ويمكن لها أن تتحول من صورة إلى أخرى. فيمكن مثلاً للطاقة الميكانيكية أن تتحول إلى طاقة حرارية وهذه بدورها يمكن أن تتحول إلى طاقة كهربائية ثم إلى طاقة ضوئية إذا ما توفرت الظروف الملائمة لكل صورة من صور الطاقة أعلاه .

وهكذا فإن الطاقة الحركية العالية التي تعجّل بها الإلكترونات يمكن أن تتحول إلى طاقة كهرمغناطيسية بتردد عال إذا ما تم إيقاف هذه الإلكترونات بوساطة هدفٍ معين. والأشعة السينية أو أشعة رونتجن هي الإشعاع الكهرمغناطيسي المنبعث عن توقف الإلكترونات المعجّلة وتعرف أيضاً بأشعة التوقف .

## تفاعل أشعة جاما مع المواد

**الطالب** : وكيف تعمل أشعة جاما على تأيين الوسط المحيط عند مرورها به ؟

**الأستاذ** : إنها تعمل على تأيين الوسط الذي تمر فيه بثلاثة أنواع رئيسية من التفاعلات وهي :

### 1 ـ الظاهرة الضوكهربائية (Photoelectric effect)

**الطالب** : ما هو المقصود بالظاهرة الضوكهربائية ؟

**الأستاذ** : إنها الظاهرة التي يتفاعل فيها فوتون أشعة جاما الساقط مع أحد إلكترونات القشرة الداخلية للذرة أي الإلكترونات شديدة الارتباط بالنواة. وبهذه العملية يمتص الإلكترون طاقة الفوتون بأكملها، وبذلك يختفي فوتون أشعة جاما من الحزمة الساقطة تماماً وينطلق الإلكترون من الذرة .

**الطالب** : هذا يعني أن الطاقة الحركية للإلكترون المنطلق ستساوي طاقة فوتون أشعة جاما الساقط على الذرة تماماً .

**الأستاذ** : كلاّ، إن قسماً ضئيلاً من طاقة فوتون أشعة جاما سوف يصرف لفك ارتباط الإلكترون بنواة ذرته وبذلك تكون الطاقة الحركية للإلكترون الخارج أقل قليلاً من طاقة فوتون أشعة جاما الساقط .

**الطالب** : والذرة، ماذا عنها، ألا تتحرك نتيجة لسقوط أشعة جاما عليها فتأخذ نصيباً من طاقتها ؟

**الأستاذ** : إذا كنت تقصد ارتداد (Recoiling) الذرة، فهي بلا شك سترتد، ولكن طاقة ارتدادها ستكون، بسبب كبر كتلتها، صغيرة إلى الحد الذي يمكن إهمالها معه .

**الطالب** : وما الذي سيحصل للذرة بعد خروج أحد الإلكترونات من المدارات الداخلية للذرة ؟

**الأستاذ** : إن خروج أحد الإلكترونات الداخلية من الذرة سيعمل، بلا شك، على إحداث تخلخل فيها. ذلك أنه سيترك أحد المدارات الداخلية شاغراً، إلاّ أن ذلك لا يدوم طويلاً إذ سرعان ما ينتقل أحد إلكترونات المدارات الخارجية إلى هذا المدار الشاغر. وسيصاحب هذه العملية انبعاث للأشعة السينية .

**الطالب** : لمـــاذا ؟

**الأستاذ** : إن طاقات إلكترونات المدارات الخارجية هي أكبر بكثير من طاقات إلكترونات المدارات الداخلية، لذا فإن على إلكترونات المدارات الخارجية أن تفقد قسماً من طاقتها عند انتقالها إلى مدار داخلي ذي طاقة أقل.

**الطالب** : ما هي حدود طاقة أشعة جاما التي تحصل فيها الظاهرة الضوكهربائية بشدة ؟

**الأستاذ** : إن هذه الظاهرة تكون واضحة وتحدث باحتمالية عالية للفوتونات التي تمتلك طاقة تتراوح بين 0,1 ـ 0,5 مليون إلكترون فولط .

## 2 ـ ظاهرة كومبتن (Compton effect)

**الطالب :** ما هي ظاهرة كومبتن ؟

**الأستاذ :** إنها ظاهرة التصادم بين فوتونات أشعة جاما والإلكترونات الحرة أو ضعيفة الارتباط بذراتها. وفي هذه العملية سيفقد فوتون أشعة جاما قسماً من طاقته وسينحرف عن خط مسارها الأصلي، وسيكتسب الإلكترون المصدوم تلك الطاقة التي فقدها الفوتون متحركاً بسرعة عالية ومنحرفاً عن خط مسار الفوتون الساقط .

**الطالب :** يبدو لي من ظاهرة كومبتن أن أشعة جاما تتصرف كجسيمات لا كموجة .

**الأستاذ :** إن هناك عدة تجارب تثبت الخاصية الموجية لأشعة جاما والأشعة السينية، أما ظاهرة كومبتن فهي إحدى الأدلة الساطعة على صحة النظرية الكمّية للإشعاعات أي تصرفها كجسيمات .

**الطالب :** ألا يندرج هذا السلوك ضمن إزدواجية الموجة ـ الجسيم (The wave - particle Duality) ؟

**الأستاذ :** نعم، هذا صحيح .

**الطالب :** وهل تحدث ظاهرة كومبتن لفوتونات أشعة جاما بجميع طاقاتها ؟

**الأستاذ :** نعم، ولكنها تكون أكثر وضوحاً عندما تمتلك فوتونات أشعة جاما طاقات تتراوح بين 0,1 ـ 10 مليون إلكترون فولط .

**الطالب :** وما هو مقدار الطاقة التي سيكتسبها الإلكترون المستطار ؟

**الأستاذ :** إن مقدار الطاقة التي يفقدها فوتون أشعة جاما ويكتسبها الإلكترون المستطار يعتمد بصورة رئيسية على زاوية التصادم بينهما .

وتحصل أكبر طاقة يكتسبها الإلكترون المستطار عندما يرتد الفوتون إلى الخلف أي عندما تكون زاوية التصادم بينهما 180 درجة.

**الطالب :** بقي أن نعرف لماذا دعيت هذه الظاهرة بظاهرة كومبتن ؟

**الأستاذ :** دعيت بهذا الإسم نسبة إلى العالم آرثر كومبتن الذي توصل إلى معالجتها نظرياً عام 1920 وهو أيضاً أول من تحقق منها عملياً. وتعرف أيضاً بظاهرة استطارة فوتون ـ إلكترون (Photon-Electron Scattering) .

## 3 ـ ظاهرة تكوين الزوج (Pair production effect)

**الطالب :** لنأتي الآن إلى الظاهرة الأخيرة التي يتفاعل بها فوتون أشعة جاما مع المادة .

**الأستاذ :** قد تكون هذه الظاهرة غريبة نوعاً ما، ألا وهي تحول فوتون أشعة جاما، الذي له كتلة سكون مساوية للصفر وشحنة متعادلة، إلى زوج من الجسيمات المشحونة لها كتلة. لذا تعرف هذه الظاهرة بظاهرة تكوين الأزواج. وتحدث هذه الظاهرة عند تفاعل فوتونات أشعة جاما مع النواة بعكس الظاهرتين الأولى والثانية .

**الطالب :** وكيف تحدث هذه الظاهرة ؟

**الأستاذ :** تحدث هذه الظاهرة عند مرور فوتون أشعة جاما ذي طاقة 1,022 مليون إلكترون فولط أو أكبر بالقرب من نواة ذرة ثقيلة كالرصاص فيختفي هذا الفوتون ليظهر عوضاً عنه جسيمان أحدهما نقيض للآخر هما النيجاترون والبوزترون اللذان يتّسمان بكونهما متشابهين في جميع الخواص ما عدا نوع الشحنة على كل منهما، فالأول سالب الشحنة كما هو معروف، أما الآخر فله شحنة تساوي شحنة الأول إلاّ أنها موجبة .

**الطالب :** إن كتلة الفوتون السكونية هي صفر كما أن شحنته هي الأخرى مساوية للصفر، وبعد حدوث هذه الظاهرة ستتولد جسيمات ذات كتلة وشحنة. ألا يشكل ذلك نقضاً لقوانين الطبيعة ؟

**الأستاذ :** يتولد هذا التناقض عند النظر إلى هذه العملية من وجهة نظر الفيزياء الكلاسيكية. وفي الواقع فإن ظاهرة تكوين الزوج تتفق تماماً مع أشهر نظريات الفيزياء الحديثة، ألا وهي النظرية النسبية الخاصة والتي ينص أحد استنتاجاتها على تكافؤ الكتلة والطاقة وذلك

حسب العلاقة التالية :

$$E = mc^2$$

حيث E هي طاقة الجسيم و m هي كتلته و c هي سرعة الضوء .

ومن هذه العلاقة فإن طاقة الإلكترون المكافئة لكتلته السكونية هي 0,511 مليون إلكترون فولط والكتلة الكلية الجديدة الناشئة عن تولد زوج إلكترون - بوزترون تساوي ضعف كتلة الإلكترون المكافئة لطاقته أي 1,022 = 2x0,511 مليون إلكترون فولط والتي هي مساوية لطاقة فوتون أشعة جاما الساقط. أي أن كلاً من الكتلة والطاقة متساويان قبل وبعد حدوث ظاهرة تكوين الزوج وذلك تحقيقاً لقانون بقاء الطاقة والكتلة .

**الطالب :** من أجل ذلك كان الشرط الأساسي لحدوث ظاهرة تكوين الزوج هو أن تكون طاقة فوتون أشعة جاما هي 1,022 مليون إلكترون فولط أو أكبر .

**الأستاذ :** نعم، أما فيما يخص الشحنة قبل وبعد التفاعل فإنها بعد تكوين زوج إلكترون - بوزترون تكون متساوية بالمقدار ومختلفة بالإشارة أي أن صافي الشحنة سيكون صفراً وهي نفس شحنة الفوتون قبل تحوّله إلى زوج إلكترون - بوزترون. أي أن قانون حفظ الشحنة متحقق أيضاً .

**الطالب :** عند زيادة طاقة الفوتون الساقط عن 1,022 مليون إلكترون فولط، فأين تذهب طاقة الفوتون الزائدة بعد حدوث هذه العملية ؟

**الأستاذ :** تتحول إلى طاقة حركية لكل من الإلكترون والبوزترون. أضف إلى ذلك أن قانون حفظ كمية التحرك (Momentum) يكون متحققاً أيضاً .

**الطالب :** أود التعرف أكثر على المقصود بقوانين الحفظ ؟

**الأستاذ :** يمكن الإجابة على هذا السؤال ببساطة على أنها القوانين التي أودعها الله تعالى في الطبيعة ليتحقق بموجبها حفظ الطاقة والمادة وكمية التحرك، أي أن هذه الكميات تكون متساوية قبل حدوث أي تغيير وبعد حدوثه، ولكن قد يعاد توزيعها على الجسيمات أو الأجسام الناتجة أو قد تظهر بصورة أخرى مغايرة للصورة التي دخلت بها في التفاعل. ومن هذه الكميات المقاسة الطاقة والكتلة والشحنة وكمية التحرك وغيرها .

## فناء الزوج (Pair Annihilation)

**الطالب :** ما الذي يحدث بعد ذلك لكل من الإلكترون والبوزترون ؟

**الأستاذ :** إن البوزترون، وكما ذكرت سابقاً، مشابه للإلكترون في جميع خواصه ما عدا نوع شحنته ويعرف أيضاً بنقيض الإلكترون، لذا فإن فرصة بقائه أو عمره يكون قصيراً جداً، فسرعان ما تقل طاقته الحركية ويلتقي مع أحد الإلكترونات المتواجدة بوفرة عالية في الوسط المحيط به، أو مع زوجه الذي تولّد معه، ليفنيا معاً ويتحولا مرة أخرى إلى فوتونين من أشعة جاما باتجاهين متعاكسين حيث أن طاقة كل منهما 0,511 مليون إلكترون فولط. وتعرف هذه العملية بفناء الزوج ويعرف فوتونا جاما بأشعة الفناء (Annihilation radiation) .
إن الكشف عن فوتونات أشعة جاما بطاقة 0,511 مليون إلكترون فولط وباتجاهين متعاكسين هودليل على حدوث عملية فناء الزوج ومن قبله تكوينه .

**الطالب :** لماذا يتولّد عن هذه العملية فوتونين باتجاهين متعاكسين ؟

**الأستاذ :** يحدث ذلك نتيجة لمتطلبات حفظ الطاقة وكمية التحرك، إذ لا يمكن أن تحدث عملية فيزيائية تنتقض فيها قوانين الحفظ .

**الطالب :** هل هناك عمليات أخرى تتفاعل بها أشعة جاما مع المادة ؟

**الأستاذ :** نعم، لكنها تحدث باحتمالية ضئيلة وتحت بعض الشروط الخاصة .

## إمتصاص أشعة جاما

**الطالب** : إذاً بالتفاعلات أعلاه يتم امتصاص أشعة جاما

**الأستاذ** : نعم، ففي بعضها يتم حذف فوتونات أشعة جاما تماماً من الحزمة الساقطة، كما في الظاهرة الضوكهربائية وظاهرة تكوين زوج إلكترون - بوزترون، أو يتم خفض طاقتها مع تغيير في اتجاه مسارها كما في ظاهرة كومبتن.

**الطالب** : هذا يعني أن احتمالية اختراق أشعة جاما للوسط الماص تكون عالية عندما تتفاعل معه ظاهرة كومبتن .

**الأستاذ** : إن احتمالية حدوث ظاهرة كومبتن تزداد كلّما قلت طاقة فوتونات أشعة جاما الساقطة. ومن المعروف أن تصادم أحد الفوتونات مع أحد الإلكترونات الحرة يؤدي إلى انخفاض في طاقة هذا الفوتون وهذا بدوره يؤدي إلى ازدياد احتمالية تفاعله مع الإلكترونات الأخرى بظاهرة كومبتن فتتناقص طاقته في كل مرة يتصادم فيها إلى أن يختفي تماماً من الحزمة. هذا إذا لم يفلت من الوسط الماص تماماً. ويعرف مقدار التوهين (Attenuation) في الأشعة الساقطة لكل سنتيمتر من المادة الماصة بمعامل الامتصاص الخطي (Linear absorption coefficient) .

## التدريع أو الحجب (Shielding)

**الطالب** : وما هي الفائدة التي تجنى من معرفة معاملات امتصاص المواد لأشعة جاما ؟

**الأستاذ** : إن معرفة معاملات امتصاص المواد المختلفة لأشعة جاما تفيد في معرفة السماكة الواجب استخدامها لحجبها والوقاية منها ومن ضررها الذي قد تحدثه في جسم الانسان وسائر الكائنات الحية .

**الطالب** : ما هي مواصفات المادة التي تستخدم كدرع جيد ضد أشعة جاما ؟

**الأستاذ** : يتطلب في المادة التي تستخدم كدرع جيد ضد أشعة جاما أن تكون ذات عدد ذري عالي وكثافة عالية ووزن جزيئي منخفض .

لذا فإن مواد مثل الرصاص والحديد تكون مناسبة جداً للتدريع ضد أشعة جاما. كما أن الذهب يعد درعاً ممتازاً ضد أشعة جاما، ونظراً لغلاء سعره فلا يلجأ إليه إلاّ في بعض الحالات التي يتطلب فيها درعاً صغير الحجم وذا كفاءة عالية .

**الطالب** : أرى أن هناك من يستخدم الخرسانة في حجب الإشعاع ؟

**الأستاذ** : تستخدم الخرسانة لحجب أشعة جاما في حالة المباني، ونظراً لكثافتها المنخفضة وكذلك معدل عددها الذري فإنها تُحمَّل بالرصاص أو الحديد لزيادة كفاءتها في الحجب .

**الطالب** : أخيراً، ما المقصود بسماكة النصف (Half width) ؟

**الأستاذ** : إنها السماكة التي تنخفض فيها شدة أشعة جاما النافذة من المادة الماصة إلى نصف قيمتها الأصلية .

**الطالب** : أشكرك على هذه المعلومات القيّمة والتي أفادتني في هذا المجال الهام .

**عمار عبد الرحمن السعد**
**مدرس مساعد / قسم الفيزياء**
**كلية العلوم / جامعة البصرة**
**جمهورية العراق**

# التفجير النووي للأغراض السلمية

## مقدمة

كيف يمكن أن يكون التفجير النووي سلمياً أو مفيداً بعد أن كان وما يزال يشكل كابوساً رهيباً يهدد العالم بأسره ؟ إن الأمر ليس حديثاً فقد جرت المحاولات الأولى منذ عام 1954، عندما أجريت دراسة شاملة للأعمال الهندسية التي يمكن تنفيذها باستخدام التفجير النووي وهي التي يتعسر تنفيذها بدون استخدام هذه النوعية من التفجيرات. ومنذ عام 1958 أخذت البحوث تتوالى لدراسة تلك التفجيرات والمقارنة بين فائدتها المرجوة ومخاطرها المحتملة.

ومن الدول المميزة في هذا المجال الاتحاد السوفيتي (سابقاً) حيث خطط عدداً من المشاريع الهندسية التي تعتمد على تقنية التفجير النووي تحت سطح الأرض، مثل مشروع ربط نهر الفولجا بنهر بيجور بوساطة قناة يبلغ طولها 113 كلم تمر في أرض صخرية لا يمكن حفرها إلاّ باستخدام 250 تفجير نووي يصل بعضها إلى قوة تفجير 3 ملايين طن من الديناميت وترتب على شكل مجمعات خطية يحتوي المجمع على ما يقارب العشرين قنبلة نووية.

كما جرت في الولايات المتحدة وفرنسا والاتحاد السوفيتي مشاريع استخدم فيها التفجير النووي لصنع خزانات نفطية وغازية تحت الأرض ولحفر القنوات وكذلك لاستخراج الغاز الطبيعي والنفط من تحت الطبقات الصخرية القاسية.

إن مثل هذه التجارب قد حوصرت من قبل منظمات أنصار البيئة مثل (منظمة السلام الأخضر) وخاصة في الغرب، وذلك بسبب الخوف المتزايد من تلوث البيئة ممّا يمكن أن يشكّل خطراً على السكان الذين يقطنون قرب تلك المشاريع. وقد قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية منذ عام 1970 بعقد ندوات متعددة لتأجيل المشاريع الهندسية الكبرى التي تتضمّن استخدام التفجيرات النووية، خصوصاً في الدول غير النووية، كما صدرت عدة دراسات تتحدث عن هذا النوع من الاستخدام وعن إسكانية الاستفادة منه وتقليل مخاطره.

## ما هي المخاطر النووية للتفجير النووي ؟

إذا كنا بعيدين عن قلب الانفجار النووي فما هو الخطر إذن ؟ ! إن التلوث الإشعاعي النووي الناتج عن الانفجار النووي خطر أيضاً. وهو يختلف بطبيعته عن التلوث البيولوجي والتلوث الكيميائي، حيث يمكن أن تقضي الجسيمات النووية وأشعة جاما عالية الطاقة على حياة الكائنات الحيوانية والنباتية، أو على الأقل تحدث تشوّهات خلقية في أجيال تلك الكائنات. فبإمكان هذه الجسيمات النووية إحداث طفرات وراثية عشوائية تغير الوظائف الفسيولوجية للكائن الحي المصاب بتلك الإشعاعات.

ومن أخطار الإشعاع النووي أيضاً تنشيط نواة بعض العناصر المستقرة (غير المشعة) وتحويلها إلى نواة غير مستقرة، كأن يتحول هذا العنصر إلى أحد نظائره أو إلى عنصر آخر قد يكون غير مستقر أيضاً (مشعاً). وهذه العناصر الموجودة في التربة قد تكون لاحقاً من مكونات ثمرة نبات غرست في تلك التربة الملوثة إشعاعياً أو في جسم حيوان تغذى على نبات ملوث إشعاعياً، وقد يصدر هذا التلوث على شكل لحوم حيوانية أو منتجات نباتية بعيدة عن موقع الانفجار النووي. ويسبب وجود مثل هذه العناصر المشعة في داخل جسم الإنسان أضراراً صحية خطيرة جداً مثل أمراض السرطان والتشوهات الخلقية في الأجنة والعقم.

## التفجير النووي السلمي

أصبح التفجير النووي تقنية خاصة ومعقدة ولها فنانيها المهرة في تصنيع القنابل النووية ذات الأحجام

المختلفة والقوى المتباينة، بحيث تؤدي العمل المطلوب بأكبر كفاءة ممكنة وبأقل كمية من التلوث. ويرجع أصل التفجير النووي إلى هندسة مستقلة لها تقنياتها المتقدمة، حيث أنه ليس من السهل ترويض هذه الطاقة الهائلة لتأدية عمل محدد ودقيق.

ويحدث التفجير النووي بطريقتين:

### أ ـ الاندماج النووي

وهو عبارة عن تكوّن نواة جديدة من إندماج نواتين مختلفتين تحت درجة حرارة عالية جداً لا تقل عن عشرة ملايين درجة مئوية وتسمّى بالتفاعلات النووية الحرارية. وتحدث هذه التفاعلات عادة في النجوم كالشمس حيث أن التفاعل المستمر في الشمس هو عبارة عن انفجارات على هيئة اندماج نووي بين ذرات الهيدروجين، كما أنها تحدث فيما يسمى بالقنبلة الهيدروجينية.

تصدر الطاقة الهائلة المتولدة في الإندماج النووي من فرق الكتلة الحاصل بين مجموع كتل نواتين حقيقيتين قبل الاندماج والنواة الجديدة المتولدة عن الاندماج، حيث يتحول فرق الكتلة إلى طاقة تتحرر على شكل طاقة حركية أو حرارية أو إشعاعية. ولا يمكن الحصول على طاقة من اندماج النوى الثقيلة لأن التنافر الكهربائي بين البروتونات يجعل العملية صعبة للغاية، كما أن طاقة التنافر تتجاوز طاقة الربط النووي فلا ينتج فائض من الطاقة عن هذه العملية. ويمكن وصف الطاقة المتحررة من الاندماج بالمعادلة التالية:

$$E = C^2 \ [(M_1 + M_2) - M_3)]$$

حيث أن $M_1$ و $M_2$ هما كتلتي نواتين خفيفتين قبل الاندماج، $M_3$ هي كتلة النواة الناتجة من الإندماج، $C$ هي سرعة الضوء، $E$ هي الطاقة الناتجة.

وعلى سبيل المثال فإن تفاعل نواة الترتيوم ونواة الدوتريوم نحصل منه على نواة الهليوم ونترون طليق وطاقة إندماج مقدارها 17,6 مليون إلكترون فولط، كما أن تفاعل الليثيوم والدوتريوم ينتج عنه طاقة إندماج مقدارها 22,4 مليون إلكترون فولط.

وبهذه الطريقة يمكن الحصول من كيلو غرام واحد من مادة تفاعل نووي حراري على 50 إلى 100 مليون كيلوواط ساعة من الطاقة.

### ب ـ الانشطار النووي

ينتج الانشطار النووي عندما تكون القوى النووية غير كافية لإبقاء النواة متماسكة، ويحدث ذلك كلّما كبرت النواة بازدياد العدد الذري. إذ أن قوة التنافر الكهربائي بين البروتونات تزداد مع مربع العدد الذري كما أن ذلك يضعف إلى درجة كبيرة تماسك النواة ويتسبب في عدم استقرارها. وهذا يفسر تواجد عدد محدود من العناصر الثقيلة المستقرة في الطبيعة، إذ أنها تتحلل إشعاعياً ولا نراها في الطبيعة.

والإنشطار النووي نوعان:

1 ـ الإنشطار الذاتي، وهو يحدث تلقائياً في بعض النوى الثقيلة غير المستقرة.

2 ـ الإنشطار بالحث، وهو يحدث عندما تحصل النواة على طاقة إضافية بامتصاصها أحد النترونات مثلاً، فعندما تمتص نواة يورانيوم -235 نتروناً تتحول إلى نواة يورانيوم -236 متهيجة (نتيجة للطاقة الفائضة الناجمة عن امتصاص النترون)، ويكفي مقدار التهيج أو الطاقة الإضافية لحدوث الانشطار النووي.

وبالإمكان الحصول على انشطار نووي بقصف النوى الثقيلة بقذائف أخرى غير النترونات كالبروتونات وأشعة جاما.

وينتج عن هذا الانشطار طاقة فائضة تقارب 200 مليون إلكترون فولط، وهي طاقة كبيرة. فالغرام الواحد من اليورانيوم -235 يمكنه أن ينتج طاقة عن طريقة الانشطار النووي تعادل 35 مليون واط. ساعة من الحرارة، وهي الطاقة التي يمكن الحصول عليها من حرق 4400 كلغ من الفحم أو ما يقارب 20 برميلاً من النفط. وتكون 80٪ من هذه الطاقة الناتجة طاقة حركية لنواتج الإنشطار العديدة والتي تبلغ سرعتها حوالي 10000 كلم في الثانية.

## طبيعة التفجير النووي

يستخدم التفجير النووي للأغراض السلمية في حفر الأنفاق في الجبال والقنوات المائية وخزانات النفط

والغاز وذلك بإحداث التفجير النووي تحت سطح الأرض، فيطلق التفجير النووي عدداً كبيراً جداً من النترونات ذات الطاقة العالية، وخلال فترة زمنية قليلة (أقل من جزء من مليون جزء من الثانية) تصل النترونات إلى الصخور المحيطة بالانفجار حيث تمتص بعد أن تقل طاقتها على يد المواد المحيطة بها مع إنتاج أنواع جديدة من النوى بعضها مستقر والبعض الآخر مشع بأعمار نصف مختلفة تتراوح من الثواني إلى آلاف السنين.

وينتج عند حدوث التفجير النووي وفي الفترة الزمنية القصيرة التي يستغرقها ما يدعى بقلب الانفجار النووي، وهو عبارة عن كتلة كروية من مادة مشتعلة بدرجات حرارة هائلة جداً تتجاوز العشرة ملايين درجة مئوية وبضغط يتجاوز عدة ملايين ضغط جوي. وتتصرف هذه الكرة الملتهبة ذات الضغط العالي وكأنها غاز أو مائع ذو ضغط عال فتتكون بؤرة للانفجار تحطم كل ما حولها بسبب موجة الضغط وتجعله مائعاً أو غازياً بسبب ارتفاع درجة الحرارة، واستجابة لهذا الضغط تبدأ الفجوة الناتجة من التفجير والمملوءة بالصخور الغازية بالتوسع على شكل موجة ضاغطة تكون من الشدة في بادىء الأمر بحيث تتحطم الصخور المحيطة بها مضيفة إلى كتلتها وحجم الفجوة الناتجة عن التفجير.

وكلما ابتعدت الموجة الضاغطة عن مركز التفجير تقل شدتها إلى أن تصل مرحلة تكون فيها غير قادرة على تحطيم صخور أخرى، وعندئذ تتحول إلى موجة اعتيادية تخرج عن طاقة الفجوة وتنتقل في الصخور كالموجات الصوتية. وتستغرق هذه العملية كلها وقتاً لا يتجاوز الواحد بالألف من الثانية، وعندما تنتقل هذه الموجة في الصخور المحيطة بالفجوة مباشرة تبدأ هذه الصخور بالتهشم حيث يبلغ الضغط عليها قيمة أكبر من الحد الأعلى الذي تحدده صلابتها. وبعد ذلك تستمر الموجة بتهشيم الصخور ولكن بصورة أقل إلى أن تنتهي على شكل شقوق. وبعد أن تقل طاقة الموجة إلى الحد الأدنى اللازم لتشقق الصخور تنتقل بصورة اعتيادية كأي موجة صوتية خلال بقية الصخور.

وقد يبقى الشكل النهائي للفجوة كروياً أو قد تسقط الصخور المهشمة داخل الفجوة مكونة شكلاً أسطوانياً، ويعتمد ذلك على أنواع الصخور وعمق التفجير وطاقته. ويطلق اسم «المدخنة» على هذه الفجوة الاسطوانية الشكل والتي تكون عادة مملوءة بالصخور المهشمة، وقد تكون المدخنة منتظمة الشكل أو ذات جدار متعرج متأثرة بتشقق الجدران الخارجية. ويتناسب حجم الفجوة الأولية الناتجة عن التفجير طردياً مع طاقة التفجير ويتغير ثابت التناسب مع طبيعة الصخور وبيئة التفجير.

## المنافـــع

يمكن الانتفاع من الفجوة الناتجة عن الانفجار أو المدخنة وما يحيطها من صخور متهشمة بعدة طرق:

1 ـ تستخدم كمستودع كبير تحت الأرض لخزن المواد الأولية أو الصناعية الهامة أو الفضلات غير المرغوب فيها.

2 ـ تستعمل كمنطقة كبيرة ذات نفاذية عالية لاستخراج احتياطي المعادن من مستودعها أو لضخ السوائل إلى منطقة ناضحة تحت الأرض.

3 ـ يعتمد التطبيق الثالث على إمكانية الموجة الناتجة عن الانفجار لتشقيق الصخور وإزاحتها من مكانها ممّا يجعلها وسيلة ناجحة لسد الأنفاق والحفر الواقعة قرب التفجير. وهذا النوع من الإستخدامات يمكن أن يستفاد منه لغلق الآبار الغازية التي لا يمكن السيطرة عليها أو سد فجوة يتسرب منها الهواء إلى منجم يحترق.

وفيما يلي بعض الأمثلة للإستخدامات البنّاءة للتفجيرات النووية:

### أ ـ إستخراج النفط والغاز

إن معدلات استخراج النفط والغاز أو النفط فقط من المستودعات الأرضية تتناسب طردياً مع نفاذية الوسط ومع لوغارتم قطر البئر. وقد اكتشفت عدة حقول تحتوي

على كميات كبيرة من النفط والغاز التي لا يمكن استخلاصها بطرق اعتيادية بسبب قلة نفاذية الوسط. وفي هذا النوع من التطبيقات يمكن الاستفادة من المدخنة الناتجة عن انفجار نووي لغرض زيادة نفاذية الوسط إلى درجة كبيرة وكذلك نصف القطر المؤثر للبئر. فالحصول على مدخنة مع الشقوق المحيطة بها داخل مستودع كبير من النفط والغاز وذي نفاذية قليلة سوف يزيد إلى درجة كبيرة من معدلات الإنتاج. ويمكن الحصول في نفس الوقت على مستودع نفطي بوساطة المدخنة والشقوق المحيطة بها.

وهناك طرق مماثلة ملائمة جداً لزيادة إنتاج النفط اقتُرحت للمستودعات التي يكون فيها ضغط الغاز فوق المستودع النفطي قليلاً جداً ولا يكفي لدفع النفط ولكن يوجد تحت المنطقة النفطية منطقة مياه تحت ضغط عال تفصلها عن المنطقة النفطية طبقة عديمة النفاذية. وتتلخص الطريقة بوضع متفجر نووي لنسف جزء من الحاجز وإحداث شقوق به بما يكفي لعبور المياه والاستفادة من ضغطها.

### ب ـ خزن النفط والغاز

يمكن استخدام فجوات ذات جدران ناعمة لا تسمح بالتسرب تنتج عن تفجيرات نووية في مناطق ملحية أو مناطق تحتوي على الحجر الجيري لخزن الغاز والنفط. ويمكن كذلك استخدام الفجوات ذات الشقوق غير العميقة، والتي لا يمكن تسرب الغاز والنفط منها، لبعدها عن المناطق عالية النفاذية لنفس الغرض أعلاه. كما يمكن استخدام تفجير نووي بطاقة 100 ألف طن وبعمق يصل إلى كيلو متر واحد تحت الأرض للحصول على مستودع لخزن ما يعادل 300 ألف متر مكعب من الغاز أو النفط.

### ج ـ حفر الموانىء والقنوات والمستودعات المائية

هذا النوع من الاستخدامات مفيد للدول النامية التي تعاني في معظم الأحيان من ندرة المياه في بعض المناطق ومن الفيضانات في مناطق أخرى، وكذلك للمساعدة في إنجاز المشاريع الهندسية الكبرى التي تتطلبها مشاريع التنمية وبتكلفة لا تتجاوز ثلث تكلفة الطرق التقليدية في أكثر الأحيان.

ومن أمثلة هذه المشاريع القناة التي تربط نهر بيجور بنهر الفولجا التي سبق ذكرها، وهناك مشروع مصري مماثل لربط منخفض القطارة في الصحراء الغربية بقناة إلى البحر الأبيض المتوسط وما ينتج عن ذلك من ملء المنخفض بمياه البحر وتغيير مناخ المنطقة الغربية وزيادة الرطوبة ممّا يساعد على إعمار المنطقة وتطوير إمكانياتها الزراعية. كما أن هناك مشاريع متعددة لخلق مستودعات مائية باستخدام التفجيرات النووية في المناطق القاحلة، ولاسيما تلك التي تكثر فيها الأمطار لفصل معين من السنة ولكنها تنعدم في الفصول الأخرى.

إن الفائدة الرئيسية من هذه التطبيقات هي توفير التكلفة والوقت اللازمين لإنجاز المشروع، إلاّ أنه لم يجر حتى الآن أي استخدام فعلي لهذا النوع من التفجيرات بانتظار إجراء دراسات تفصيلية عن تأثيرات التفجيرات المفتوحة على البيئة التي يتم فيها التفجير، وكذلك التأثيرات الجيولوجية التي ذكرناها آنفاً. وتشير الأدلة الحالية إلى أن الهزات الأرضية وحركة الموجات الناتجة عن التفجير السطحي تكون أقل شدة وتميل إلى ذبذبات ذات تردد أقل من التفجيرات التي تجرى تحت الأرض، كماوأن الاندفاع الهوائي الناتج من التفجير والذي يصل إلى 200 كلم يستلزم دراسة في بيئات مختلفة كتأثيره على المناطق السكنية وعلى الطبقة الأيونية التي تحمي الأرض من الموجات فوق البنفسجية وتقلّل من شدتها، والتي يعتبر الحفاظ عليها من المؤثرات الصنعية كالتفجيرات النووية في غاية الأهمية.

**فالح حسين جار الله**
**قسم الفسيولوجيا ـ كلية الطب**
**جامعة البصرة**
**جمهورية العراق**

# إستخدام النظائر المشعة في دراسة حياة الحشرات وقدرتها على التطور ومقاومة المبيدات

## مقدمة

تعددت التطبيقات النووية في مجال الإنتاج الزراعي خلال العقود القليلة الماضية، وتعتبر تطبيقات النظائر المشعة في مكافحة الآفات الزراعية والحشرات، التي أدت وما زالت تؤدي دوراً هاماً في هذا المجال، من أهم هذه التطبيقات. فقد ساهمت النظائر المشعة في حل العديد من المعضلات خاصة في الدراسات البيئية والفسيولوجية والحيوية للحشرات، ومكّن استعمالها من الإجابة على الكثير من الأسئلة التي كان من الصعب الإجابة عليها باستعمال التقانات التقليدية.

ويعود استعمال النظائر المشعة في مجال مكافحة الآفات الزراعية إلى نهاية النصف الأول من القرن العشرين، إذ قام بوغر وتيلور (Bugher & Taylor) بالتجارب الأولى في هذا المجال، وتوالت بعد ذلك البحوث التي اهتمت باستعمال هذه التقانة في دراسة الآفات الزراعية والمبيدات المستعملة لمكافحتها، وكان لهذه الدراسات دوراً هاماً في تحقيق فهم أعمق لهذه الآفات وبالتالي مقدرة أفضل على مكافحتها.

## أهمية النظائر المشعة في مكافحة الآفات الزراعية

تمتاز النظائر المشعة لعنصر ما بامتلاكها للخواص الكيميائية نفسها لذرات ذلك العنصر، فهي تتفاعل بالآلية نفسها وتسلك نفس الطريق. كما تتميز، إضافة إلى ذلك، بقدرتها على إصدار إشعاعات معينة يمكن الكشف عنها وتتبعها بوساطة أجهزة خاصة لهذا الغرض. وقد أعطت هذه الميزة النظائر المشعة أهمية خاصة إذ أمكن استعمالها لوسم جزيئات العنصر نفسه أو جزيئات مواد أخرى واستعمالها في الدراسات المختلفة، ممّا مكّن من معرفة السلوك الذي تسلكه جزيئات ذلك العنصر أو تلك المادة والتحولات المختلفة التي يمكن أن تتعرض لها وطريقة تحوّلها ومكان توضّعها. وبشكل مشابه لدور الحلقات التي تستعملها محطات أبحاث الطيور في تتبع الطريق الذي تسلكه، يمكن تتبع الطريق الذي تسلكه الجزيئات المرقومة بنظير مشع والتحوّلات التي تطرأ عليها عن طريق نشاطها الإشعاعي. وقد أمّنت هذه الميزة وسيلة لا تضاهى للقيام بالكثير من الدراسات العلمية وخاصة البيولوجية.

## النظائر المشعة المستعملة في دراسة الحشرات

يتوفر في الوقت الحاضر أكثر من ألف نظير مشع لكن ما يستعمل منها في مجال دراسة الآفات الحشرية لا يزيد عن 10٪. ومن أهم هذه النظائر الفسفور -32 والكربون -14 والهيدروجين -3 والكلور -38 والكبريت -35 والخارصين -65 والكالسيوم -45 والحديد -59. ويتميز الفسفور المشع، من بين هذه المجموعة، بميزات خاصة تجعله من أهم النظائر المستعملة في هذا المجال، وذلك بسبب عمر نصفه القصير نسبيا وإصداره لأشعة بيتا السالبة بطاقة مناسبة.

## طرق دخول النظائر المشعة لجسم الحشرة وطرحها منه

يمكن للنظائر المشعة الدخول لجسم الحشرة، كما هو الحال في المبيدات والعديد من المواد الكيميائية الأخرى، بطرق متعددة أهمها الفم والقناة الهضمية والامتصاص عبر جدار الجسم ومع الحيوانات المنوية وعبر الفتحة الشرجية والفتحات التنفسية. أما طرح الحشرات للنظائر المشعة فيتم بطرق متعددة أيضاً أهمها التقيؤ والتنفس والتعرق ومع إفرازات الغدد اللعابية والجهاز التناسلي والبيض والحيوانات المنوية وعن طريق أنابيب مالبيكي والمستقيم ومع نواتج هضم الغذاء وإفرازات الجسم المختلفة مثل الفرمونات.

## وسم الحشرات بالنظائر المشعة

لا بد عند استعمال النظائر المشعة لوسم الحشرات، في دراسة ما، من الأخذ بعين الاعتبار الهدف من هذه الدراسة وإمكانية استعمال الطرق التقليدية البديلة وميزات استعمال النظائر المشعة وفائدتها. كما أنه لا بد

من أن يؤخذ بعين الاعتبار كذلك توفر الأجهزة اللازمة للكشف عن النشاط الإشعاعي للنظير المستعمل وقياسه. ويعتمد اختيار نظير مشع معين لوسم أفراد حشرة ما، بشكل عام، على عدة عوامل تتعلق بالحشرة ذاتها وخصائص النظير المستعمل والهدف من الدراسة. وأهم هذه العوامل ما يلي :

1 ـ عوامل فيزيائية تتعلق بعمر النصف الفيزيائي للنظير المشع ونوع الأشعة التي يطلقها وطاقتها .

2 ـ عوامل كيميائية تتعلق بالتركيب الكيميائي للمادة المشعة .

3 ـ عوامل فسيولوجية تتعلق بعمر النصف البيولوجي للمركب المشع ومدى سمّيته للحشرة ذاتها .

4 ـ عوامل بيئية تتعلق بالمكان الذي تعيش فيه الحشرة ودورة حياتها وأهميتها في السلسلة الغذائية واحتمال تلوث البيئة .

## طرق وسم الحشرات بالنظائر المشعة

يمكن تقسيم الطرق المستعملة في وسم الحشرات بالنظائر المشعة إلى :

**أ ـ طرق تستعمل على مستوى مختبري لوسم أعداد محددة من الحشرات وتشمل :**

1 ـ طرق الوسم الداخلي : وتتم بتغذية الحشرات المراد وسمها بمواد غذائية تحتوي على نظير مشع ما أو حقنها بمحلول ذلك النظير. ويمكن أيضاً غرس قطع معدنية حاوية على النظير المشع في جسم الحشرة وتطلى مثل هذه القطع عادة بالذهب أو البلاتين أو بعض المواد الصناعية الأخرى كالمطاط أو التيفلون لمنع تآكل الطبقة الخارجية التي تحتوي على النظير المشع، وبما يؤدي إلى انتقاله إلى الدم ثم طرحه إلى خارج الجسم .

2 ـ طرق الوسم الخارجي : وتستعمل لهذا الغرض عدة طرق مثل إذابة النظير المشع في سائل سريع التطاير، ثم استعماله على شكل نقاط توضع على جسم الحشرة وتترك حتى تجف وتختار لذلك الأماكن المحمية نسبياً. وقد تستعمل مواد لاصقة مختلفة لتثبيت المواد المشعة خارجياً على جدار الجسم. كما قد تستعمل أقراص أو أسلاك معدنية تحتوي على نظائر مشعة مثل الكوبلت ـ60 والراديوم ـ226 تثبت على جسم الحشرة باستعمال المواد اللاصقة .

**ب ـ طرق تستعمل على مستوى حقلي لوسم أعداد كبيرة من الحشرات وتشمل :**

1 ـ الرش بمحاليل النظائر المشعة : تعتبر هذه الطريقة من أبسط طرق الوسم الجماعي المستعملة، وتستعمل لأغراض متعددة مثل دراسة قدرة المبيدات على الإلتصاق بجسم الحشرة، وانتشارها عليه، والنفاذ عبر جدار الجسم. ولكن لا ينصح باستعمالها لدراسة انتشار الحشرات أو كثافتها بسبب الاختلافات الكبيرة في توزّع النظير على الحشرات المرقومة .

2 ـ التغطيس بمحاليل النظائر المشعة : تُستعمل هذه الطريقة لوسم أعداد كبيرة من الحشرات (على مستوى حقلي) أو صغيرة (على مستوى مختبري) وتساعد إضافة بعض المركبات الكيميائية للمحلول، مثل المركبات المخففة للتوتر السطحي كالميثانول 20٪ والمنظفات المنزلية، على توزيع أكثر تجانساً للنظير المشع على أجسام الحشرات المعاملة. وبشكل عملي توضع الأفراد المراد ترقيمها في شبكة وتغطس لمرة أو أكثر في محلول يحتوي على النظير المشع ثم تجفف بتيار هوائي دافىء. وتستعمل هذه الطريقة أيضاً لترقيم البيض قبل وضعه في البيئة لدراسة أو وسم المفترسات التي تتغذى عليه .

## إستعمالات النظائر المشعة في مكافحة الآفات الزراعية

تعتبر النظائر المشعة وسيلة فعّالة لدراسات عديدة في مجال مكافحة الآفات الزراعية والحشرات لاسيما في مجال بيئة وفسيولوجية الحشرات وسمّية المبيدات، كما تعتبر وسيلة ناجعة في دراسة استقلاب المبيدات في جسم الحشرة وتفككها في الطبيعة ونواتج هذا التفكك. كما تستعمل النظائر المشعة أيضاً في تحديد موقع الحشرات في السلسلة الغذائية وتحديد الأنواع المُفترسة والمُفترَسة، ودراسة العلاقة بين الحشرات المتطفلة وعوائلها. وساهم استعمال النظائر المشعة في الدراسات البيئية في معرفة انتشار الحشرات وديناميكية مجتمعاتها وأفضل الطرق لمكافحتها. كما مكّن استعمالها من الكشف عن أماكن تعذر الحشرات وبياتها الشتوي وحركة الأنواع أو الأطوار الأرضية منها تحت سطح التربة، حيث يصعب استعمال التقانات التقليدية. وأدت النظائر المشعة أيضاً دوراً هاماً جداً في دراسة سلوك الحشرات وحركة العناصر الغذائية داخل جسم الحشرة والتغيرات التي تطرأ عليها. وأهم استعمالات النظائر المشعة في مجال مكافحة الحشرات هي :

1 ـ الدراسات الفسيولوجية للحشرات .
2 ـ دراسة آلية نقل الحشرات للعوامل الممرضة .
3 ـ دراسة مقاومة الحشرات للمبيدات الكيميائية .
4 ـ دراسة سلوك الحشرات وخصائصها البيولوجية.
5 ـ الدراسات البيئية للحشرات .
6 ـ مكافحة الآفات الزراعية .

## النظائر المشعة في الدراسات الفسيولوجية للحشرات

ساهمت النظائر المشعة، إلى حد بعيد، في التقدم الكبير الذي حدث في فهمنا لفسيولوجيا الحشرات، وأجابت على العديد من الأسئلة التي كان من الصعب الإجابة عليها بوسائل البحث التقليدية وخاصة في المجالات التالية :

### 1 ـ دراسة سرعة مرور المواد الغذائية في القناة الهضمية

من المفيد جداً معرفة سرعة مرور المواد الغذائية داخل القناة الهضمية للعديد من أنواع الآفات الزراعية ذات الأهمية الاقتصادية. ويمكن القيام بذلك عن طريق وسم المواد التي تتغذى عليها الحشرة بنظير مشع معين، ثم الكشف عن النشاط الإشعاعي لذلك النظير في المخلفات الهضمية لتلك الحشرة. ولدراسة سرعة مرور المواد الغذائية في القناة الهضمية للحشرات أهمية تطبيقية كبيرة، ويمكن لهذه الخاصية أن تكون وسيلة من وسائل مقاومة الحشرات للمبيدات .

### 2 ـ نفاذية جدار الجسم للمواد الكيميائية

يسمح جدار الجسم في الحشرات بمرور بعض المواد الكيميائية المتحللة في المركبات العضوية (وأحياناً غير العضوية) إلى داخل الجسم، ولهذا أهمية تطبيقية بالغة إذ تعتمد معظم الطرق المستعملة في مكافحة الآفات الزراعية على إيصال المبيدات إلى أجهزة الحشرة الداخلية عن طريق مرورها عبر جدار الجسم (التأثير بالملامسة). وتؤدي النظائر المشعة دوراً هاماً في دراسة إمكانية مرور هذه المركبات عبر هذا الجدار وسرعة مرورها والعوامل التي تؤثر في ذلك. ففي تجربة تناولت دراسة نفاذية جدار الجسم لمحلول فسفات الصوديوم المرقوم بالفسفور ـ32 لنوعين من الصراصير، وجد أن سرعة عبور هذه المادة لجدار الجسم تتعلق بعوامل عدة مثل درجة الحرارة والرطوبة والعمر الفسيولوجي لجدار الجسم. وبطريقة مماثلة أمكن دراسة سرعة مرور المبيدات الكيميائية إلى الدم عبر جدار الجسم ثم طرحها خارجه عن طريق أنابيب مالبيكي .

### 3 ـ استقلاب المواد الغذائية في الجسم

مكّنت النظائر المشعة من الإجابة على أحد الأسئلة الهامة في مجال استقلاب المواد الغذائية، وهو دور الأحياء الدقيقة المتعايشة داخلياً (Endosymbiotics) في اصطناع بعض المركبات الكيميائية الضرورية لبعض أنواع الحشرات (الأحماض الأمينية والفيتامينات والسيترولات). فمثلاً تتغذى حشرات المنّ على عصارة النباتات التي لا تحتوي من حيث المبدأ على جميع العناصر الغذائية الضرورية لنموها وتكاثرها، ولكن تعتمد هذه الحشرات على الأحياء الدقيقة المتعايشة داخلياً في اصطناع ما تحتاجه منها. ولدراسة مدى حاجة حشرات المنّ لهذه المركبات ودور الأحياء الدقيقة في اصطناعها، استعملت تقنية التغذية الاصطناعية لهذه الأحياء حيث غذيت حشرات المنّ على مواد غذائية اصطناعية تحتوي على مضادات حيوية تقتل الأحياء الدقيقة، ممّا مكّن من الحصول على حشرات خالية من هذه الأحياء. ودرست بعد ذلك الاحتياجات الغذائية الحقيقية لهذه الحشرات، حيث أمكن الحصول على بيئة غذائية كافية لنمو وتكاثر حشرات المنّ الخالية من هذه الأحياء،ثم أضيفت مركبات مرقومة بالنظائر المشعة إلى وسط التغذية، وغُذيت عليه حشرات المنّ المحتوية على الأحياء الدقيقة المتعايشة داخلياً وتم الكشف عن النشاط الإشعاعي في المركبات الناتجة، فوجد أن هذه الأحياء تقوم بتركيب عدد كبير من العناصر الغذائية التي لا تستطيع الحشرات الخالية من هذه الأحياء تركيبها، وبالتالي كشف النقاب عن دور هذه الأحياء وأهميتها بالنسبة لحشرة المن .

كما مكّن استعمال النظائر المشعة من الكشف عن تقسيم العمل في بعض الحشرات الاجتماعية على أساس بيوكيميائي، وهي مسألة لم يكن كشفها ممكناً باستعمال التقانات التقليدية. فمثلاً مكّنت النظائر المشعة من الكشف عن نمط التغذية عند الدبور الأحمر الشرقي (Vespa orientalis F.) الذي يعيش في حوض البحر الأبيض المتوسط والشرق الأدنى حيث يندر وجود الكربوهيدرات كمصدر لا غنى عنه للطاقة في بعض الفصول، خاصة في المناطق الصحراوية، وتصبح البروتينات هي المصدر الغذائي شبه الوحيد المتوفر. وقد أدت الدراسات التي

اعتمدت على تغذية يرقات هذه الحشرة ببروتينات مرقومة بنظير الكربون – 14 إلى الكشف عن وجود كربوهيدرات مشعة في الحشرات الكاملة، ممّا يشير إلى مقدرة اليرقات على تحويل البروتينات إلى كربوهيدارت، وإلى وجود تبادل غذائي بين اليرقات والحشرات الكاملة.

## دراسة آلية نقل الحشرات للعوامل الممرضة

تلعب الحشرات دوراً هاماً كنواقل للأحياء الدقيقة الممرضة (فيروسات، بكتريا، وحيدات خلية، فطريات) من كائن حي (نبات أو حيوان) إلى آخر، وقد ساهمت النظائر المشعة بشكل كبير في فهم آلية هذا الدور. فمثلاً بيّنت الدراسات التي تعتمد على استعمال النظائر المشعة قدرة الحشرات على نقل العديد من العوامل الممرضة، وخاصة الفيروسات، على أجزاء فمها من كائن حي لآخر وبشكل ميكانيكي. وقد تبيّن عند تغذية أنواع من الذباب الماص للدم (ذباب الإسطبل) بغذاء يحتوي على نظير الفسفور – 32 ثم تغذيتها بغذاء آخر خال من النظير، انتقال النظير إلى الغذاء الجديد.

كما بيّن استعمال النظائر المشعة أيضاً أن بعض الحشرات يمكن أن تنقل العوامل الممرضة عن طريق التقيّؤ. فمثلاً وجد عند تغذية ذبابة الإسطبل على وسط يحتوي على نظير مشع ثم فحص نواتج التقيّؤ لهذه الحشرة، أن النشاط الإشعاعي في تلك النواتج بلغ حوالي 15٪ من النشاط الإشعاعي الأساسي في الغذاء. ومكّنت هذه التقنية أيضاً من الكشف عن وجود هذه الظاهرة في أنواع المن ودورها في نقل العوامل الممرضة، فعند تغذية حشرات المن من النوع (Aulacokthum circum flexum) على بادرات فول مرقومة بالهيدروجين المشع ($^{3}H$) ثم تغذيتها على غذاء مرقوم للتخلص من النظير الموجود على أجزاء فمها، وتغذيتها بعد ذلك على بادرات فول خالية من النظير، وجد أن هذه البادرات أصبحت مشعة. كما أوضحت هذه الدراسة أن تغذية الحشرات لمدة 1 ـ 3 دقائق على نباتات الفول كان كافياً لنقل كمية كبيرة من النظير المشع إلى تلك النباتات، وبيّنت مقدرة حشرات المنّ على نقل الفيروسات من نباتات مصابة إلى أخرى سليمة، بعد تغذيتها لثوان فقط على النباتات المصابة. وهكذا يمكن أن تؤدي عملية التقيّؤ في حشرات المن دوراً هاماً في نقل العوامل الممرضة للنباتات.

## دراسة مقاومة الحشرات للمبيدات

أصبحت ظاهرة مقاومة الحشرات للمبيدات من الظواهر الشائعة، لدرجة أنه لا تكاد شركات المبيدات تضع مبيداً جديداً في الأسواق حتى نسمع بأن بعض أنواع الحشرات قد طورت صفة لمقاومة هذا المبيد، رغم أنه كان فعّالاً جداً في قتل تلك الحشرات. وقد بيّنت الدراسات أن ظاهرة المقاومة هذه تتعلق بعوامل متعددة منها ما هو متعلق بقدرة الحشرة على التخلّص السريع من المبيد وطرحه خارج الجسم، ومنها ما يتعلق بقدرتها على تفكيكه إلى مركبات أخرى غير ضارة أو تحويل مسارات استقلابه إلى طرق أخرى، وتنتج المقاومة أحياناً عن تغيير الحشرة لسلوكها بشكل تتفادى فيه التعرض للمبيد. وقد أدت النظائر المشعة دوراً كبيراً في دراسة وفهم مقاومة الحشرات للمبيدات وبالتالي إيجاد الطرق المناسبة للتغلب عليها. فمثلاً يمكن الكشف عن المقاومة الناتجة عن سرعة طرح الحشرات للمبيد خارج الجسم بمعاملتها بمبيد مرقوم بنظير مشع، ثم الكشف عن النشاط الإشعاعي في الحشرات المعاملة. ويمكن أن يتم ذلك بطرق متعددة، أبسطها أخذ صور إشعاعية للحشرات المعاملة ثم دراسة الكثافة الإشعاعية في هذه الصور، فيتبين أن كثافة المبيد في الحشرات المقاومة منخفضة في حين تبدو صور الحشرات الحساسة وقد احتوت على النظير بكثافة أعلى.

## دراسة سلوك الحشرات وخصائصها البيولوجية

تقدم النظائر المشعة وسيلة فعّالة، وأحياناً لا بديل لها، في دراسات شتى في مجال دراسة سلوك الحشرات وخصائصها البيولوجية وأهم هذه الدراسات هي:

### 1 ـ دراسة دورة الحياة عند الحشرات

تتطلب مكافحة آفة ما معرفة جيدة بدورة حياتها وأطوارها المختلفة ومكان تواجد كل طور من هذه الأطوار ومدته، وتتطلب دراسة هذه الخصائص أحياناً ترقيم بعض أفراد الحشرة، ولكن الترقيم بالوسائل التقليدية كثيراً ما يؤدي إلى تغير في سلوك الحشرات المرقومة أو سلوك الأفراد الأخرى تجاهها وبالتالي عدم دقة النتائج، في حين أن ترقيمها باستعمال النظائر المشعة يؤمّن طريقة أكثر سهولة ودقة دون أي تحوير في سلوك الحشرة أو الحشرات الأخرى تجاهها، مع الحفاظ على القدرة العالية على مراقبة الحشرات المرقومة حتى ولو كانت تحت سطح التربة أو متخفية في مكان ما فوق سطحها.

## 2 ـ دراسة سلوك التزاوج

من الأهميـة بمكان معرفة سلوك التـزاوج عند الآفات الحـشرية وخـاصة عـمر الحـشرة عند التـزاوج، ويمكن دراسة ذلك باسـتعمال الـتقانات التقليـدية مثل المراقـبة المسـتمـرة وتشريح عـينات من الحشـرات بشكل دوري والبحث عن الأكياس الـمنوية بداخلها، ولكن تقدم النظائر المشـعة وسيلة أكـثر سهـولة ودقة في هذا المجـال. فمن المعـروف أن ذكور بعض الحشـرات المرقومة، وخـاصة التابعة منها لرتبة حرشفية الأجنحة، تنقل إلى الإناث أثناء التزاوج كمـية من النظير المشع كافـية للكشف عن حدوث التزاوج (تصبح الإناث مشعة).

## 3 ـ دراسة سلوك وضع البيض

تساهم معرفة سلوك وضـع البيض عند الحشرات في فـهم أوسع وأسهل لسلوكـها الـتكاثري وتحديد الطريقـة المـثلى لأخذ العـينات ومدى الـحاجـة للمكافحـة والوقت الأنسب لذلك. فـمثـلاً تمكّن البـاحثـون من تحديد أمـاكن وضع البيض في فراشة اللوز الأمـريكية عن طريق تغذية الإناث على محلول سكري يحتوي على الفـسفور المشع، ثم الكشف عن البيض المـشع باستعمـال كاشف مناسب، وقد تبـيّن أن الحشـرة تضع بيضـها على وريقـات الجزء العلوي فقط من النبات.

## 4 ـ دراسة السلوك الغذائي للحشرات

تؤدي النظائر المشعـة دوراً هاماً في دراسة السلوك الغذائي للحـشرات وبالتـالي في حل العديد من المـسائل العلمية والإجابة على بعـض الأسئلة التي كان من الصعب الإجابة عليها باستعمال طرق البحث التقليدية. فمثلاً تمكّن الباحثـون عن طريق تغذية البقة الخضـراء، المسؤولة عن نقل العامـل الممرض المـسبب لمرض الانتـفـاخ البـرعمي لنبات الكاكو، على نباتات مرقـومة بالفسفور المشع ($^{32}P$) من الكشف عن دور هذه الحـشرة في نقل المـرض. وكان من الصعب مـعرفة ذلك باستـعمال الطرق التـقليدية نظراً لصغر حجم الحشرة وانخفاض قدرتها على الانتشار، كما أن معرفة تواتر التغذية (مـرة كل 24 ساعة) عند الحشرة وقـدرتهـا الضـعـيفـة على الانتـشـار مكّن من وضع استراتيجية جديدة أكثر دقة وكفاءة لمكافحتها.

وتسـتعـمل النظائر المشـعة أيضـاً كوسـائل عاليـة الكفاءة لدراسة نظام تبادل الغذاء في الحشرات الاجتماعية كالنمل والنحل، وذلك بتغذية عدد من الأفراد بغذاء مرقوم بنظير مـشع ثم الكشف عن النشاط الإشعـاعي في الأفراد الأخـرى، إذ يشيـر وجوده فـيهـا إلي تبـادلها الغـذاء مع الأفـراد المرقـومة. وقـد بيّنت العـديد من التجـارب، على أنواع مخـتلفة من النمل وسـلالات متعـددة من النحل، أن تغـذية بعض أفراد الطائفـة على غذاء يحـتوي على نظـير مشع أدى إلى انتقال هذا النظير خلال ساعات محدودة إلى جميع أفراد الطائفة ممّا يشير إلى وجود نظام تبادل غذائي متقدم جداً عند هذه الأنواع.

# الدراسات البيئية للحشرات

تعـتبر النظائر المشعـة وسيلة ممتـازة في الدراسات البيئية للحشرات لاسيما في مجال تقدير أعدادها ودراسة انتشـارها ومدى طيـرانها وهجرتهـا وحركـتها، خـاصة بالنسـبة لـلحشـرات الأرضـية التي تعـيش في الخـشب وجذوع الأشجار والأماكن المشابهة، وأهم هذه الدراسات هي:

## 1 ـ دراسة قدرة الحشرات على الطيران ومتوسط عمرها

أدت النظائر المـشـعـة دوراً هامـاً في دراسـة قـدرة الحشـرات على الطيران ومتـوسط عمرها. فـقد استـعمل الفسفور المشع ($^{32}P$) والسترنشيوم ($^{89}Sr$) لترقيم يرقات بعـوض الملاريا في الـبرك التي تتكاثر فـيـها، ثم أخـذت عينات من هذه الحشـرات على مسافات متـباعدة من برك التربية، وفحصت لمعرفة عدد الحشرات المرقومة الحاملة للنظيـر المشع، وبذلك أمكن دراسـة قدرة هذه الحـشرات على الطيـران، كمـا مكّنت من معـرفة الزمن الفـاصل بين وقت ظهور الحـشرات الكاملة المـرقومـة واصطياد آخر حشرة مرقومة لتقدير متوسط العمر عند هذه الأنواع.

## 2 ـ دراسة حركة الحشرات الأرضية

يُمكن ترقيم الحشـرات بالنظائر المشعة لاسـيما تلك التي تعـيـش تحت سطح التـربة وفـي الخـشب وجـذوع الأشجـار والأماكن المـشابهة مـن تتبع حركـتهـا. ولهذه الدراسات أهمية تطبيقية كـبيرة، فمثلاً مكّنت هذه الطريقة من تحديد أماكن أعشاش الـنمل في حقول الخضروات، إذ تعتبر هذه الأعشاش مصدراً للإصابة بحشرات المنّ نظراً لوجود عـلاقة غذائـية وثيقـة بين هاتين الحشـرتين. وقد مكّنت تقانة النظائر المشعة من الكشف عن أماكن أعشاش النمل بدقـة وذلك بتغذية بعض الأفـراد على غذاء يحـتوي على نظير مـشع، ثم الكـشف عن مكان تركـيـز النشـاط الإشـعاعي (عـادة في الأعشـاش) باستـعمـال الأجهـزة المناسـبة، وبمكافحتهـا أمكن القضاء على حـشرات المنّ أيضـاً، وبالتالي تجنب إصـابة الخضـروات بهذه الآفـات وتخفيض بقايا المبيدات في البيئة بشكل كبير.

### 3 ـ تقدير أعداد الحشرات في الطبيعة

تؤمّن النظائر المشعة أيضاً طريقة سهلة لتقدير المجموع الحشري لآفة ما في الطبيعة، وهو أمر في غاية الأهمية لاتخاذ قرار المكافحة. ويعتمد مبدأ هذه الطريقة على وسم عدد محدد من أفراد الحشرة المراد دراستها بنظير ما، ثم إطلاقها في الطبيعة وتركها لتختلط بمجتمع الحشرة الطبيعي، ثم اصطياد عيّنة من أفراد الحشرة، وبتحديد عدد الحشرات التي يتم اصطيادها وعدد الحشرات المرقومة (المشعة في هذه الحالة) في العينة المصطادة، يمكن تقدير حجم المجموع الحشري لهذه الآفة في منطقة الدراسة.

وبالطبع يمكن استعمال وسائل الترقيم التقليدية (الصبغات والمواد المتألقة) بدلاً من النظائر المشعة لترقيم الحشرات في هذه الدراسة، إلاّ أن استعمال النظائر المشعة يتفوق على الطرق التقليدية في أمور عدة أهمها سرعة ترقيم الحشرات وسهولة الكشف عن أعداد كبيرة منها خلال وقت قصير وعدم إزالة المواد المرقومة بالعوامل الجوية (الأمطار مثلاً) أو حدوث أي تغيير في شكل الحشرة، وبالتالي سلوكها أو سلوك الأفراد الأخرى تجاهها، كما في حالة الحشرات المرقومة باستعمال المواد الملونة.

وتزود الدراسات المتعلقة بمدى الطيران والقدرة على الانتشار والهجرة علماء الحشرات الاقتصادية بنتائج هامة جداً، إذ تمكّن هذه الدراسات، إضافة إلى الدراسات المتعلقة بتقدير المجتمعات الحشرية، من الحصول على معلومات هامة وضرورية لوضع برامج مكافحة لهذه الآفات. وتستعمل هذه المعلومات لتحديد أماكن نشوء الإصابة وتوقع حدوثها وتحديد مستوى الضرر الاقتصادي المتوقع وبالتالي العتبة الاقتصادية للمكافحة.

## مكافحة الآفات باستعمال النظائر المشعة

تطلق بعض النظائر المشعة مثل الكوبلت ‎–60 والسيزيوم ‎–137 أشعة جاما ذات القدرة العالية على الاختراق، وقد وجد أن تعريض الكائنات الحية ومنها الحشرات لجرعات منخفضة نسبياً من هذه الأشعة يؤدي إلي إحداث تغيرات فيها تتراوح بين العقم الجنسي والموت السريع، وذلك تبعاً لجرعة التعرض ونوع الكائن الحي. وقد استعملت هذه الميزة في مكافحة الآفات الحشرية بطرق عدة أهمها :

### 1 ـ مكافحة أو استئصال الآفات الزراعية باستعمال تقنية الحشرات العقيمة

يعتمد مبدأ تقنية الحشرات العقيمة على تربية الحشرة بأعداد كبيرة ثم تعقيمها بوساطة الأشعة المؤينة وإطلاقها في الطبيعة بأعداد كبيرة ولمدة كافية، بحيث يؤدي تزاوجها مع الحشرات الطبيعية إلى وقف تكاثرها. وقد أظهرت هذه الطريقة فعالية عالية في استئصال أو مكافحة العديد من أنواع الآفات الحشرية ذات الأهمية الاقتصادية.

### 2 ـ تطهير المواد المخزونة من الإصابات الحشرية

تعتبر معالجة المواد المخزونة بالأشعة المؤينة لوقف إصابتها بالحشرات من الطرق الهامة المستعملة اليوم والبديلة لاستعمال الغازات السامة، إذ يمكن معالجة المواد المصابة بجرعة إشعاعية معينة تتعلق بنوع الآفة. وبشكل عام فإن جرعة كيلو غراي واحد تكفي للقضاء على جميع أنواع الآفات الحشرية في المواد الغذائية المخزونة، دون أن تترك أي بقايا غير مرغوبة في المواد المعاملة.

### 3 ـ معالجات الحجر الزراعي

تستعمل الأشعة المؤينة لمعالجة بعض المواد الغذائية وخاصة الخضروات والفاكهة الطازجة والمجففة، والمحتمل احتوائها على بعض الحشرات الهامة من وجهة نظر الحجر الزراعي، وذلك كبديل لاستعمال الغازات السامة. ومن المتوقع أن يزداد استعمال هذه الطريقة في السنوات القليلة القادمة خاصة بعد التحريم الدولي لاستعمال غاز ثنائي بروميد الإثيلين (EDB) وبروميد الميثيل (MB).

### 4 ـ المكافحة البيولوجية للآفات الزراعية

تؤدي الأشعة المؤينة دوراً هاماً في المكافحة البيولوجية للآفات الزراعية، إذ يمكن استعمالها لتعقيم الأوساط الغذائية المستعملة لتربية الأعداء الحيوية وتخليصها من الأحياء الدقيقة الضارة الموجودة فيها وتعقيم العوائل الطبيعية بهدف زيادة كفاءة تربية الأعداء الحيوية عليها أو تسهيل إجراءات نقل الأعداء الحيوية مع عائلها الطبيعي إلى البلدان أو المناطق التي يخضع فيها مثل هذا العائل لقوانين الحجر الزراعي.

**د. محمد منصور**
**هيئة الطاقة الذرية السورية**

# العوامل المؤثرة على التلوث الإشعاعي للأغذية والمياه

## مقدمة

إن العناصر المشعة المختلفة في البيئة الحيوية والمنتشرة في الهواء والمياه والتربة، بغض النظر عن كونها طبيعية أو من صنع الانسان، تتصرف شأنها شأن مثيلاتها من العناصر غير المشعة فيمكن وصولها إلى مكونات السلة الغذائية اليومية (Daily Food Basket) إعتماداً على الخواص الكيميائية والفيزيائية لهذه العناصر، ومن ثمّ دخول الجسم وإحداث أضرار بيولوجية في الأنسجة والأعضاء المستهدفة.

لقد أظهرت دراسات عديدة أن محتويات السلة الغذائية من المواد المشعة يمكن أن تساهم بنسبة تصل إلى 25٪ من الجرعة السنوية الكلية من الخلفية الإشعاعية (Total Backgroudnd Radiation) التي يتعرض لها الفرد في بيئته. وقد وجد أيضاً أن البوتاسيوم -40، وهو نظير مشع طبيعي، يساهم بالقسم الأكبر من الجرعة الإشعاعية الداخلية للأشخاص المتواجدين في البيئات الاعتيادية، في حين يساهم الكربون -14 بشكل أقل.

أما بالنسبة للتشغيل النمطي للمفاعلات والأنشطة النووية ذات العلاقة بالبحوث فإنها تساهم بدرجة أقل في حجم التلوث البيئي الإشعاعي ذي التأثير المباشر على تلوث الأغذية.

وعند وقوع تفجير نووي أو حادث نووي فإن تأثيرهما على تلوث البيئة الغذائية يكون أكبر نسبياً نتيجة انطلاق نواتج الانشطار إلى عناصر البيئة من تربة وماء وهواء وهو ما يؤدي بدوره إلى التلوث الإشعاعي للأغذية والأعلاف، أما أهم نواتج الانشطار النووي فهي: السترنشيوم -90 وعمر النصف الإشعاعي له 28,8 عاماً، الكوبلت -60 وعمر النصف الإشعاعي له 5,27 أعوام، والروثنيوم -106 وعمر النصف الإشعاعي له عام واحد، والسيزيوم -137 وعمر النصف الإشعاعي له 30 عاماً، واليود -131 وهو عنصر لافلزي متسامي (يتحول إلى الحالة الغازية دون المرور بالحالة السائلة) وله عمر نصف إشعاعي مدته 8 أيام فقط ومع ذلك وبسبب خاصيته الانتقائية للتجمع في الغدة الدرقية فإنه يعتبر من الملوثات المشعة المهمة.

إن معظم هذه العناصر المشعة، وبشكل خاص السترنشيوم -90 والسيزيوم -137 واليود -131، ذات أهمية خاصة فيما يتعلق بتلوث الأغذية. وبالإضافة إلى ما تقدم فإن هناك العديد من نواتج التنشيط التي لها علاقة بتلوث السلة الغذائية ومنها: الزنك -65 وعمر النصف الإشعاعي له 245 يوم والكربون -14 وهو عنصر لافلزي وعمر النصف الإشعاعي له 5730 عام. والمعروف أن نواتج التنشيط هذه لا تتولد بشكل مباشر أثناء عملية الانشطار ولكنها تتكون معها بشكل متزامن وذلك بفعل تأثير الإشعاع الذري وبشكل خاص النترونات في الأماكن التي تتم فيها التفجيرات النووية أو أنها تكون جزءاً من مكونات التفاعل أو السلاح النووي.

أما النظائر المشعة ذات الاستخدامات المتنوعة في الطب والصناعة والزراعة والبحوث، والتي يتم إنتاجها عادة عن طريق القصف النتروني لنوى ذرات عناصر مختارة، فإن تأثيرها على تلوث السلة الغذائية بشكل عام محدود جداً.

## العوامل المؤثرة على التلوث الإشعاعي للأغذية

### العوامل المناخية

إن الاحتمال الراجح في الوقت الحاضر هو أن معظم النويدات المشعة بعد إطلاقها للجو تجد طريقها إلى المواد الغذائية المنتجة من خلال التربة. لذا قام المتخصصون بدراسة تأثير الظواهر الجوية على سلوكية الانطلاقات المشعة التي تعقب التفجيرات النووية في الجو خلال الخمسينات والستينات من القرن العشرين من حيث الانتشار في الجو والحجز أو الاحتباس والترسيب.

أما في الوقت الحاضر فتستخدم نماذج جاهزة أو يتم اللجوء إلى عمليات القياس المباشر عن طريق إقامة وربط شبكة من منظومات الكشف والقياس والمسح الجوي

للمواد المشعة المطلقة فعلياً عند التعامل مع الحوادث النووية الكبيرة .

إن هناك اختلافات في جوانب معينة ما بين إطلاق المواد المشعة بسبب التفجيرات النووية في الجو أو نتيجة لحوادث المفاعلات النووية، وبشكل خاص، كمية الحرارة المتولدة وقت الإطلاق لتأثيرها المباشر لاحقاً على مسار الإنطلاقات المشعة وعلى التلوث الإشعاعي للأغذية .

ففي التفجيرات النووية في الجو وجد أن الجزء الأكبر من نواتج الانشطار يتم حمله إلى ارتفاعات تتراوح ما بين 10 ـ 15 كيلومتراً أو تزيد ونظراً لعدم وجود احتمالية لتكوّن راسب عند هذه الارتفاعات فإن الانطلاقات المشعة سوف تظل في الجو لفترة زمنية تتراوح ما بين عام إلى عامين قبل أن تترسب خلال طبقة التروبوسفير في المستويات الأقل ارتفاعاً من الجو. وبمجرد وصولها إلى طبقة التروبوسفير فإنها سرعان ما تترسب في الغيوم المطرية أوفي الأشكال الأخرى من الرواسب. وبحلول هذا الوقت تكون النويدات المشعة ذات أعمار النصف القصيرة مثل اليود –131 قد فقدت نشاطها الإشعاعي نتيجة عملية التحلل (Decay). أما نواتج الانشطار ذات أعمار النصف الأطول مثل : السيزيوم –137 والسترنشيوم –90 فيتم انتشارها على نطاق واسع على الأقل فوق مناطق نصف الكرة الأرضية، والتي تقع فيها المنطقة التي حدث فيها إطلاق نواتج الانشطار لأول مرة، في حين يحتمل أن يكون نقل هواء الستراتوسفير فوق المناطق الواقعة على خط الاستواء بطيئاً ممّا يتسبب في تعرّض أعداد كبيرة من المجموعات البشرية إلى جرعات إشعاعية منخفضة .

أما في حالة إطلاق المواد المشعة الناتجة عن حوادث المحطات النووية فإن النويدات المشعة تبقى في الجزء السفلي من طبقة التروبوسفير. وقد تم التأكد من هذه الحقيقة بشكل عملي خلال حادث مفاعل تشرنوبيل، حيث لوحظ أنه عند بداية الحادث ارتفعت المواد المنطلقة من المفاعل إلى حوالي كيلومتر في الإتجاه الرأسي. لذا يتوقع في إنطلاقات مشابهة لحادث تشرنوبيل أن يتم تفريغ محتويات الغيمة المشعة بسرعة نتيجة تساقط وجبات متتالية من نواتج الانشطار على الأرض ممّا يؤدي إلى تعرض المجموعات السكانية إلى جرعات إشعاعية أعلى بكثير نسبياً مقارنة بحالات التفريغات الستراتوسفيرية التي تسبب انتشار المتساقطات المشعة على مناطق واسعة في العالم أو ما يسمّى «التساقط الكوني» .

ويتم التحكم في المواقع المحلية التي يجري بها ترسيب النويدات المشعة بوساطة حركة الكتل الهوائية على الارتفاعات المختلفة، والترسيب الجاف للنويدات المشعة الموجودة على شكل عوالق في الغمة المشعة. وتتأثر سرعة الترسيب إلى حد كبير بحجم دقائق المادة التي تترافق معها أجزاء من الحطام النووي .

ويعتمد التنبؤ بأنماط الترسيب للإنطلاقات المشعة من حيث مواقع الترسيب أو الفترات الزمنية اللازمة وكذلك من الناحية الكمية، على بعض العوامل المناخية المألوفة مثل اتجاه الريح على الارتفاعات المختلفة، والمطبات الهوائية، والاستقلابات، وتيارات الحمل للكتل الهوائية والترسيب أثناء أو في أعقاب وقت الإطلاق .

## تأثير العوامل الزراعية

إن النويدات المشعة التي تترسب على الأرض يمكن أن تدخل السلسلة الغذائية للإنسان بالطرق التالية :

### 1 ـ الترسيب المباشر على الأجزاء القابلة للأكل

يمكن أن يتم الترسيب المباشر على الأوراق أو على الأجزاء المكشوفة من النباتات التي يتناولها الإنسان أو الحيوان الذي يعتمد الانسان عليه في غذائه .

### 2 ـ الحجز أو الاحتباس في طبقات التربة

إن احتفاظ التربة ببعض النويدات المشعة في طبقات معينة منها يؤدي إلى انتقال هذه النويدات إلى النباتات النامية عن طريق جذورها .

### 3 ـ إعادة التعلق على شكل غبار

يمكن انتقال النويدات المشعة من التربة إلى الهواء كعوالق على شكل غبار. وبنفس الأسلوب يمكن انتقال النويدات المشعة من الأسطح الأخرى الملوثة المكشوفة .

### 4 ـ الغسل السطحي من الطبقات العميقة من الأرض إلى مصادر المياه

يمكن انتقال النويدات المشعة من الطبقات العميقة من الأرض إلى مصادر المياه عند مرور المياه عبر الطبقات الملوثة باتجاه المياه الجوفية. إن استخدام هذه المياه لاحقاً، في أي غرض من الأغراض سوف يؤدي إلى تلوث السلسلة الغذائية .

وتعتمد أهمية كل من الطرق المذكورة أعلاه لإحداث التلوث الغذائي على كمية المواد التي تدخل ضمن الأنواع المحلية من الغذاء وعلى عوامل أخرى مثل : أعمار النصف للنويدات المشعة وعلى الفترة الزمنية ما بين ترسيبها ومرورها من خلال التربة إلى المياه أو الفترة الزمنية ما بين تلوث الحيوانات واستهلاك الإنسان للحوم والمنتجات الأخرى لتلك الحيوانات .

ومن الجدير بالذكر أن نسباً متباينة من النويدات المشعة المترسبة على الأجزاء الخضرية لـلنباتات تتم إزالتها من الخضروات قبل استهلاكها من قبل الإنسان سواء عن طريق غسلها أو إزالة الأوراق الخارجية منها. إلاّ أنه من المفيد أن نذكر أن كميات من المواد المشعة يمكن أن تترسب داخل أنسجة النباتات النامية عن طريق امتصاصها بشكل مباشر من قبل أوراق النباتات. لذا فإن الترسيب بوساطة أوراق النباتات مهم هو الآخر في تحديد التلوث الإشعاعي بشكل مباشر وبشكل خاص في حالة اليود –131 في حليب المواشي والأبقار وغيرها والتي تعتمد بشكل رئيسي في تغذيتها على المراعي المفتوحة .

وتمر عدة أيام فقط ما بين الرعي وظهور اليود –131 في الحليب. ويساعد عمر النصف لليود –131 والبالغ 8 أيام على التنبؤ بأن النشاط الاشعاعي الناجم عن هذا النظير في الزبدة ومنتجات الحليب الأخرى القابلة للخزن سوف يقل بنسبة تبلغ حوالي عشرة أضعاف خلال كل شهر من الخزن .

لقد أظهرت الدراسات بأن مستوى اليود –131 في الحليب الطازج سوف ينخفض بعد توقف إطلاق المواد المشعة على الأقل بنفس السرعة التي يقل بها للنشاط الترسيبي. أما بالنسبة للنويدات المشعة ذات أعمار النصف الأطول فإن الحالة تكون مختلفة تماماً لأن عدداً قليلاً فقط من هذه المواد تتركز بشكل انتقائي في الحليب. ويمكن أن تؤدي ثبوتية نشاطاتها الإشعاعية في التربة إلى استمرارية دخولها إلى السلسلة الغذائية عبر فترات زمنية طويلة عن طريق أخذها من قبل النباتات النامية إضافة إلى ترسيبها على الأوراق وامتصاصها فيها في بداية الأمر .

وتنتشر نظائر السيزيوم على نطاق واسع في الأنسجة النباتية والحيوانية على نفس وتيرة عنصر البوتاسيوم. إن الوفرة النسبية لبعض نواتج الانشطار مثل : السيزيوم –137 والسيزيوم –134 والتي يقتصر تواجدها تقريباً في السنتمترات القليلة العليا من التربة يمكن أن يجري امتصاصها في النباتات النامية خلال مواسم متعاقبة ممّا يؤدي إلى تلوث طويل الأمد للأعلاف والأغذية. لذا فإن نظائر السيزيوم يمكن أن تتسبب في إحداث تلوث معتدل ولكنه مستمر لأغذية الإنسان مقارنة باليود –131 والذي يكون أكثر شدة من حيث النشاط الإشعاعي ولكنه أقصر تواجداً من حيث الفترة الزمنية .

وتعتمد جرعة التلوث الإشعاعي الناتجة عن ترسيب السيزيوم المشع على الخواص الكيميائية للتربة ـ ذلك أنه قد وجد أن حجز السيزيوم أو الاحتفاظ به (Retention) في الطبقات العليا من التربة هو أعلى في الترب ذات المحتوى الطيني العالي مقارنةً بالترب الغنية بالبوتاسيوم أو الغنية بالمواد العضوية المتحلّلة .

كما أن شكل الغطاء النباتي هو الآخر ذو أهمية وبشكل خاص في حالة مجموعة الأشنات القطبية (Arctic Lichenes) حيث أن دورة نموه طويلة جداً بحيث أن السيزيوم –137 يمكن أن يبقى ولفترة تصل إلى 15 عاماً في الأنسجة النباتية والتي يترسب فيها السيزيوم. إن هذا التلوث بعيد المدى مضافاً إليه المساحات الكبيرة التي يتم رعيها يومياً من قبل غزلان الرنة يمكن أن يؤدي إلى زيادة في مستويات السيزيوم –137 في أنسجة هذه الحيوانات أكبر بكثير منه في لحوم حيوانات أخرى معرّضة إلى نفس المستويات من التلوث الأوّلي للمراعي .

وهناك علاقة مهمة بين خواص التربة والحالة الفيزيائية والكيميائية للنويدات المشعة .

## تلوث الأغذية عن طريق المياه

أجريت دراسات كثيرة حول دخول النويدات المشعة إلى السلسلة الغذائية بعد طرحها إلى البحيرات والأنهار أو دخولها إلى البحار والمحيطات. إن مناقشة انتشار النويدات المشعة ضمن فترة زمنية قصيرة أو فترة زمنية طويلة الأمد بحاجة إلى عناية خاصة. ففي خلال فترة زمنية قصيرة أي خلال السنوات الأولى القليلة بعد وصول المادة أو المواد المشعة إلى البحيرات أو البحار فإن نسب تركيز النويدات المشعة المختلفة بين مياه البحار أو المياه العذبة وبين الأنسجة التي تؤكل عادة مثل الأسماك والقواقع أو القشريات، وكذلك للأنواع الأخرى من النباتات المائية تظل ذات أهمية .

أما في الحيوانات، فإن تركيز نظائر السيزيوم يمثل أهمية قصوى بالرغم من أن نويدات السترنشيوم قد تكون ذات أهمية حيث تؤكل الأسماك الصغيرة بكاملها (بما فيها العظام).

وفي الفترات الزمنية الطويلة التي قد تمتد لقرون، يمكن أن تساهم معدلات الجرعات الإشعاعية السنوية المنخفضة جداً والناتجة عن الكربون -14 بشكل لا يستهان به في تعرض السكان.

## أهمية توفير المعلومات الخاصة بالأغذية المنتجة محلياً

إن من الأمور المهمة معرفة المكونات الاعتيادية للأغذية التي يتم تناولها في المناطق المختلفة من أي قطر والعمل على توثيق ذلك مع الأخذ بعين الاعتبار ما يلي:

1 ـ الإختلافات الموسمية في مكونات الأغذية.
2 ـ المواقع التي تؤخذ منها مكونات الأغذية الرئيسية.
3 ـ الفترات المثالية ما بين الجني والاستهلاك.

إن الاختلافات الرئيسية لهذه الأغذية وبشكل خاص في الأطفال الرضع يجب أن تكون معروفة أيضاً.

وفي أية حالة طارئة من المفيد معرفة أنواع الأغذية التي يحتمل أن تسبب أعلى الجرعات الإشعاعية في المراحل المبكرة لإطلاق المواد المشعة بسبب حادث طارىء بحيث يمكن اتخاذ إجراء سريع على ضوء نتائج القياسات السريعة والبسيطة ومعرفة نوع المادة المطلقة، وبظهور تفاصيل أكثر عن الحادث مثل طبيعة التلوث البيئي الغذائي المتسبب عن النويدات المطلقة نتيجة للحادث سوف يصبح بالإمكان مراجعة الاجراءات المحلية وتحويرها إذا ما دعت الحاجة.

إن الوقاية الفعّالة من مخاطر الأغذية الملوثة إشعاعياً تعتمد بالضرورة على التوافق ما بين تطبيق مستويات التدخل نفسها في جميع المناطق ودون استثناء وبين تطبيق إجراءات إدارية وأساليب معقدة عند تطبيق قيود خاصة في المناطق التي تعتمد على مصادر مختلفة في غذائها. علاوة على ذلك فإن أية قيود سواء أكانت على موقع محدد أو يتم تطبيقها بشكل شمولي يجب أن تأخذ بالحسبان جميع الصعوبات والأضرار وهوامش الخطورة التي قد تنتج نتيجة فرض هذه القيود وكذلك مخاطر الإشعاع فيما لو سمح باستمرار تداول محتويات السلة الغذائية ذات العلاقة دون ضوابط وقيود.

## الخاتمة

في البيئات المختلفة وتحت الظروف الإعتيادية وجد أن الجرعات الاشعاعية التي يتعرض لها الأفراد نتيجة التلوث الاشعاعي للمياه والغذاء والهواء الناتج عن المصادر المشعة الطبيعية في البيئة وكذلك نواتج الاستخدامات المختلفة للطاقة النووية ولمختلف الأغراض هي في الواقع جرعات إشعاعية منخفضة. إلاّ أنه من المهم أن ندرك ومن خلال نتائج البحوث الخاصة في حقل الدراسات الوراثية الإشعاعية في الثدييات ومن خلال المنظومات البيولوجية المتنوعة أن هذه الملوثات البيئية يمكن أن تلحق أذى بالمادة الوراثية للكائنات الحية ومن ضمنها الانسان. أما في حالات الطوارىء النووية فيتوقع إطلاق كميات كبيرة من الملوثات المشعة إلى الجو ويكون للبيئة الحيوية بعناصرها الأساسية الهواء والماء والتربة ومن خلال أغذية الانسان والحيوان النصيب الكبير. لذا تلجأ السلطات المخولة في المناطق المتأثرة بشكل مباشر أو غير مباشر إلى وضع ضوابط وقيود على حركة المواد الغذائية والأعلاف للحد من مخاطر الملوثات المشعة.

ونتيجة للدراسات الميدانية المكثفة في أعقاب حادث تشرنوبيل أصبح بالإمكان تخمين المخاطر الناجمة عن تناول أية مادة غذائية ملوثة إشعاعياً باستخدام برامج ونماذج جاهزة لتقدير كمية كل نويدة مشعة يتم امتصاصها من خلال القناة الهضمية وذلك بالاستعانة بالبيانات التي توفرها قاعدة المعلومات التي تحتوي على بيانات ذات علاقة بطبيعة الأغذية ومكوناتها ومعلومات عن أساليب إنتاجها والطبيعة الجيولوجية لمناطق إنتاجها وتأثير الظروف الجوية في المنطقة المعينة، إضافة إلى توفير أساليب فعالة لإزالة النويدات المشعة من الأغذية الملوثة.

**د. حسين الونداوي**
**دائرة البحوث البيئية ووقاية العاملين**
**منظمة الطاقة الذرية العراقية**

# كيفية إزالة التلوث الإشعاعي من المواد الغذائية والمياه

## مقدمـــة

يعتبر كل من البوتاسيوم (K) والراديوم (Ra) واليورانيوم (U) والثوريوم (Th) من أهم النويدات المشعة الطبيعية الأرضية ذات العلاقة بالتلوث الإشعاعي للأغذية. أما النويدات المشعة الأخرى ذات العلاقة بالتلوث الغذائي فهي قد تكون ناتجة عن تداخل الأشعة الكونية مع نوى العناصر الموجودة في الجو وفي مقدمتها الكربون – 14 والترتيوم. ويمكن إهمال مقدار التلوث الحاصل عن طريق النويدات لكونه ضئيلاً مقارنة مع النشاط الإشعاعي الطبيعي والناتج عن المصادر الأرضية. أما النويدات المشعة الصنعية الناتجة من استخدام التقانات النووية المختلفة والمستخدمة لأغراض التطبيقات الطبية والبحوث، وكذلك النفايات المشعة ذات النشاط الإشعاعي العالي الناتجة عن عمليات إعادة تصنيع الوقود النووي والتلوث البيئي الناتج عن عمليات نقل النفايات المشعة من معامل المعالجة وإليها، فإنها جميعاً يمكن أن تؤدي إلى تلوث البيئة والسلسلة الغذائية للإنسان والحيوان.

وتشير البيانات المتوافرة خلال الفترة ما قبل حادث تشرنوبيل المعروف في 26/ 4/ 1986 إلى أن التلوث البيئي العرضي الناتج عن حوادث المفاعلات كان مقتصراً على مساحات صغيرة مسيطر عليها، وأن الجرعات الإشعاعية التي تعرض لها الأشخاص القاطنون قرب تلك المنشآت سواء عن طريق تناول الأغذية الملوثة إشعاعياً أو بشكل تعرض إشعاعي مباشر كانت أقل من المتساقطات الناتجة بسبب التفجيرات النووية في الجو. وقد وجد أن تعرض السكان لهذه النويدات كان بشكل رئيسي نتيجة تناول الأغذية الطازجة وبشكل خاص منتجات الألبان.

ولغرض حماية الإنسان من التلوث واستخدام الوسائل المختلفة لطرح النويدات المشعة التي تكون قد دخلت فعلاً إلى جسم الإنسان، فإن دراسات في هذا الاتجاه قد بدأت منذ عام 1955 حيث تمّ ابتكار وتطوير بعض الأساليب الخاصة بمعالجة الحيوانات (التي تتغذى على الحشائش والأعلاف) الملوثة داخلياً باستخدام بعض المواد الكيميائية التي يمكن بوساطتها إزالة الملوثات الداخلية وذلك بهدف تقليل تلوث منتجاتها كالحليب واللحم والبيض حتى لا تصل إلى الإنسان عن طريق السلسلة الغذائية، كما تم تطوير أساليب خاصة لإزالة النويدات المشعة التي تجد طريقها إلى داخل الجسم.

ومن المتعارف عليه أنه يجب تطبيق إجراءات وقائية محددة بمجرد أن تصبح مستويات النويدات المشعة في البيئة أعلى من مستوياتها ضمن الخلفية الإشعاعية المسجّلة لمنطقة ما، ولو بمقدار ملحوظ، وأحياناً تبدأ هذه الإجراءات بمجرد الكشف عن نويدات مشعة معينة (كما في حالة نظائر اليود المشعة على سبيل المثال) في البيئة، حيث يستدل منها على وقوع حادثة نووية وخاصة في المفاعلات النووية أو حدوث تفجير نووي في الجو.

وسوف نستعرض في هذه المقالة بعض المعالجات الخاصة بإزالة تلوث الأغذية وكذلك الحيوانات التي تتناول حشائش أو أعلافاً أو مياهاً ملوثة بالإشعاع.

## كيفية معالجة الأغذية الملوثة بالسيزيوم

يتم إمتصاص السيزيوم بشكل كامل من خلال القناة الهضمية للإنسان حيث ينتشر في الأنسجة الرخوة وبشكل خاص في العضلات. ويتراوح عمر النصف البيولوجي للسيزيوم في الأشخاص البالغين ما بين 70 إلى 100 يوم، ويكون أقصر في الأطفال حيث يتراوح ما بين 10 إلى 50 يوماً.

ويدخل السيزيوم – 137 إلى السلسلة الغذائية عن طريق ادمصاصه على أسطح النباتات أو عن طريق امتصاصه من قبل أوراق النباتات. وفي معظم أنواع الترب ترتبط جزيئات الطين مع السيزيوم – 137 بقوة بحيث يصبح غير متوفر لجذور النباتات كي يتم امتصاصه،

وبذلك فإن تركيزه في المادة النباتية يعتمد على الكمية المترسبة خلال فترة نمو النباتات.

وفي أعقاب حادث تشرنوبيل وجد في اليونان أن 7,5٪ و 0,3٪ فقط من السيزيوم – 137 في حليب الخراف قد انتقل إلى الجبن والقشطة على التوالي. ومن الجدير بالذكر أن تلوث السلسلة الغذائية عن طريق منتجات الألبان يفسر سر الاهتمام الكبير باستنباط وابتكار وتطوير الأساليب المختلفة لإزالة النويدات المشعة من الحليب.

## 1 ـ إزالة السيزيوم – 137 من الحليب والماء

تتطرق بحوث ودراسات كثيرة إلى استخدام تقانات مبادلات الأيونات الراتنجية (Ion-Exchange Resins) والديلزة الكهربائية (Electrodialysis) في إزالة تلوث الحليب والماء المستخدم في إعداد الطعام.

وتعتبر عملية إزالة الأيونات من محلول ما عن طريق تمريره من خلال مبادل أيوني راتنجي هي عملية ذات طبيعة غير مستمرة، لأن المبادل الأيوني الراتنجي سرعان ما يفقد خواصه التبادلية عندما يتشبع بالأيونات المطلوب فصلها. ومن خلال استخدام هذه التقانة صار بالإمكان إزالة أكثر من 99٪ من السيزيوم – 134 من الحليب. فبعد فترة تلامس أمدها 8 دقائق فقط وجد أن حوالي 85٪ من السيزيوم الذي تم ترقيم الحليب به داخلياً مرتبطاً بالمركب الراتنجي. وتتطلب هذه العملية تخفيض الرقم الهيدروجيني (pH). وتتم عملية التعادل للحليب المعالج قبل استخدامه في صناعة الأجبان، إلاّ أن عملية تصنيع الأجبان من هذا النوع من الحليب المعالج بهذه الطريقة قد تحتاج إلى تحويرات معينة للحفاظ على نكهة الجبن المصنّع وخواصه النوعية ذات الطبيعة الفيزيائية وخاصة بالنسبة للمنتج النهائي. وقد أجريت تجارب عديدة بهدف إمكانية استخدام حامض الهيدروكلوريك بديلاً عن حامض الستريك لأغراض خفض الرقم الهيدروجيني للحليب الملوث بالسيزيوم. وبالرغم من أن المنتج المصنّع باستخدام حامض الهيدروكلوريك كان مقبولاً حتى مع بقاء العناصر الثقيلة دون معدلاتها القصوى بكثير، إلاّ أنه لوحظ فقدان مهم لأحد الفيتامينات الهامة ضمن مجموعة ـ ب ـ المعقدة وهو «الثايمين» (Thiamine)، وكذلك حدوث تغيير في نكهة الحليب بالإضافة إلى فقدان محسوس في بعض الفيتامينات الأخرى مع زيادة في مستويات بعض العناصر المعدنية مثل الرصاص والنحاس والحديد.

كما أظهرت دراسات أخرى أن تخفيض الرقم الهيدروجيني بمقدار ضئيل (من 6,8 إلى 6,2) ومعالجة الحليب في درجة 40°م قد أدى إلى إزالة 97٪ من السيزيوم – 137.

علاوة على ما تقدم فإن إعادة تنشيط المادة الراتنجية لها بعض السلبيات (عند مقارنة هذه الطريقة من المعالجة مع الطرق الأخرى) نظراً لكونها تحتاج إلى وقت طويل وتكلفة عالية لعملية التنشيط وهي بطبيعتها عملية شاقة. لذا يبدو أن البديل الأفضل هو استخدام «الديلزة الكهربائية» باستخدام أغشية خاصة حيث تمتاز بكونها عملية مستمرة. وبما أنه يتم فقدان أملاح أخرى خلال عملية إزالة تلوث الحليب باستخدام الديلزة الكهربائية لذا يجب إعادة إضافة تلك الأملاح لاستعادة التوازن المعدني لمكونات الحليب إلى وضعه الطبيعي. لقد وجد أن استخدام الديلزة الكهربائية يمكن أن يزيل 90٪ من السيزيوم المشع من الحليب ولكن في حالات معينة لوحظت نكهة مرة وظهور راسب في الحليب المعالج.

## 2 ـ إزالة السيزيوم من الخضروات

هناك تقارير وبحوث تتناول كيفية إزالة التلوث الإشعاعي من الخضروات الورقية والبصلية، وبهدف التوصل إلى نتائج قابلة للتطبيق تم رش الخضروات بنوعيها أعلاه خلال نموها بمحاليل تحتوي على نويدات مشعة مختلفة. وقد أعطى استخدام الماء أو 0,2٪ محلول حامض الستريك نتائج متشابهة فيما يخص إزالة السيزيوم. أما إزالة تلوث الخس والملفوف والهندباء البرية ذات الأوراق العريضة والكرنب والفجل والبطاطا فقد تمت السيطرة عليه تحت درجات حرارة مختلفة تتراوح ما بين 20°م ـ 90°م ولمختلف فترات المعالجة وباستخدام الماء و0,2٪ محلول حامض الستريك.

ومن ضمن النويدات المشعة التي درست كان السيزيوم – 137 أفضلها من حيث إزالته بالغسل. وعند إجراء عملية الغسل بالماء للخس ولفترة 30 دقيقة ازدادت

نسبة السيزيوم المزال من 4٪ عند استخدام الماء في درجة 20°م إلى 72٪ عند استخدام الماء بدرجة 80°م. أما في حالة نبات الملفوف فإن استخدام الماء البارد لمدة 60 دقيقة أو ماء في درجة 37°م لمدة 3 ساعات قد أدى إلى إزالة 9٪ و38٪ فقط من السيزيوم على التوالي .

وقد اهتمت معظم الدراسات المنشورة بالمادة المشعة التي تمتص بشكل رئيسي على الأسطح بحيث أن غسل وإزالة الجزء الخارجي قد أدى إلى خفض مستوى النويدات المشعة في الخضروات التي تمت دراستها. أما في حالة البطاطا الملوثة فيجب إزالة القشرة لأن المعالجة الحرارية مثل عملية السلق بهدف إزالة القشرة سوف تؤدي إلى انتقال النشاط الاشعاعي من القشور إلى الأجزاء الداخلية. وقد وجد أن تقشير البطاطا وتقطيعها إلى شرائح وتحريكها بشكل مستمر لمدة 16 ساعة في محلول يحتوي على تراكيز قليلة من كلوريد البوتاسيوم وكلوريد الصوديوم بوجود مبادل أيوني راتنجي موجب قد ساعد على إزالة أكثر من 95٪ من السيزيوم .

أما عندما يتم امتصاص النويدات المشعة عن طريق الجذور فإن مستوى التلوث يعتمد على عامل انتقال كل نويدة وتكون عملية إزالة التلوث في هذه الحالة أقل كفاءة .

ويمكن أن يؤدى دمج عمليتي تخليل وتعليب الخيار إلى خفض مستوى السيزيوم –137 بمقدار 94٪ في حين أن عملية التعليب وحدها يمكن أن تؤدي إلى خفض مستوى التلوث بمقدار 63٪ في الفاصوليا و77٪ في الملفوف. أما التجميد فيمكن أن يؤدي إلى خفض مستوى السيزيوم بمقدار 25٪ في الملفوف .

### 3 ـ إزالة السيزيوم من الفواكه

لغرض دراسة إمكانية إزالة السيزيوم من الفواكه أجريت دراسات قليلة تضمّنت تلويث عصير الطماطم بكلوريد السيزيوم –137 ، وفي دراسة أخرى تم تلويث التربة بالسيزيوم –137 ثم تحضير مهروس الطماطم من الثمار المزروعة في تلك التربة. وقد أظهرت النتائج أن استخدام بعض المبادلات الأيونية الراتنجية بتراكيز منخفضة لا تزيد على 2٪ من الناحية النسبية يمكن أن يؤدي إلى خفض تركيز السيزيوم –137 إلى مستوى الخلفية الإشعاعية ، إلاّ أنه ليس بالإمكان المحافظة على القيمة الغذائية لمنتجات الطماطم المعالجة .

أما عند معالجة عصير التفاح فقد لوحظ أن المعايير الخاصة بالجودة لا تتأثر عند استخدام تقانة الديلزة الكهربائية والتي يمكن أن يؤدي استخدامها إلى إزالة حوالي 98٪ من السيزيوم المشع المضاف للمنتج .

## كيفية إزالة السترنشيوم من الأغذية

يمثل إطلاق النويدات المشعة ذات أعمار النصف الطويلة مثل السترنشيوم –90 إلى البيئة الحيوية مشكلة صحية خطيرة، حيث يتم الاحتفاظ بأجزاء كبيرة من السترنشيوم –90 المترسب على الأرض من قبل أنواع عديدة من الترب في الجزء العلوي منها .

وعندما يتم التلوث بهذا النظير المشع عن طريق تناول الأغذية الملوثة به، فإن السترنشيوم الممتص يترسب في التراكيب العظمية بطريقة مشابهة لترسيب الكالسيوم في العظام. ويعتمد عمر النصف البيولوجي على طور تكوين العظام وعلى حالة الاستقلاب (Turno-ver)، حيث أن تخمين عمر النصف البيولوجي لأعمق جزء يمكن أن يستقر فيه السترنشيوم في الجسم يتباين من 2 ـ 5 أعوام في الأشخاص البالغين، أما في الأطفال الذين تتراوح أعمارهم ما بين 4 ـ 12 عاماً فلا يتجاوز 60 يوماً. ويمثل الأطفال أكثر الفئات العمرية تأثراً بالنسبة لترسيب السترنشيوم المشع بسبب ديناميكية النمو في الهيكل العظمي. وهناك ضرر إضافي ذو علاقة بالطفولة وهو أن مجموعات الخلايا غير الناضجة في الطفل يمكن أن تكون أكثر حساسية للإشعاع. وقد أظهرت بعض الدراسات التي شملت الأطفال أن 20٪ من السترنشيوم يتم امتصاصه من خلال الأمعاء وأن حوالي نصف تلك الجرعة يتم الاحتفاظ به في الجسم .

أما عن نمط تلوث السلسلة الغذائية بالسترنشيوم فهو مماثل للسيزيوم ويعتمد على التلوث السطحي للنبات. إن امتصاص السترنشيوم من الأمعاء وإفرازه في حليب الأبقار هو أقل كفاءة مقارنة بالسيزيوم، وقد بلغ تركيز السترنشيوم في الحليب حوالي 10 إلى 20 ضعفاً أقل من السيزيوم. وقد أظهرت إحدى الدراسات أنه بعد مرور 32 يوماً على حدوث التلوث فإن الإفراز الكلّي للسترنشيوم في الحليب قد بلغ 0.88٪ من الجرعة المعطاة .

ولقد تم التأكد من وجود ثلاثة أنصاف أعمار خاصة بطرح السترنشيوم من العظام، وقد أشارت نتائج إحدى الدراسات إلى أن 54٪ من السترنشيوم الذي يتم تناوله من قبل الأبقار يتم طرحه عن طريق البراز، أما في الإنسان فإن 50٪ من السترنشيوم الذي يتم تناوله مع المواد الغذائية مصدره الحليب.

**1 ـ إزالة السترنشيوم من الحليب**

إن المبادلات الأيونية الموجبة الراتنجية (Synthetic Cation-Exchange Resins) على شكل $NA^+$، $K^+$ أو $Ca^{2+}$ قد استخدمت بنجاح في إزالة السترونشيوم المشع من الحليب المرقوم. وقد وجد أن إزالة السترنشيوم المشع إلى حد 90٪ تكون مصحوبة على الدوام بتغيرات في التركيب الأيوني الموجب للحليب والخواص الفيزيائية الأخرى. وقد جرت أولى المحاولات للمحافظة على تركيب الحليب دون إحداث تغيير في مكوناته بإضافة محلول صنعي مكون من خليط من الأملاح، حيث أمكن إزالة 60٪ فقط من السترنشيوم. وقد تم ابتكار طريقة جديدة لإزالة السترنشيوم المشع عن طريق تحميض الحليب إلى رقم هيدروجيني (pH) يتراوح ما بين 5,3 ـ 5,4 باستخدام حامض الستريك بتركيز 0,1 أو 0,5 مول قبل تمرير الحليب من خلال المبادل الأيوني الراتنجي.

ومنذ منتصف الستينيات تم إنشاء عدد من المعامل الريادية القادرة على إزالة أكثر من 90٪ من السترنشيوم ـ90 عند وجوده في البيئة بتراكيز هامة. أما المكونات الجرثومية والتراكيب الكيميائية فلم تتأثر بمقدار محسوس ولكن تغييراً ضئيلاً في النكهة قد تمت الإشارة إليه في بعض الدراسات.

وهناك طرق أخرى لإزالة السترنشيوم من الحليب، ذلك أنه بفعل تأثير كربونات الكالسيوم وفوسفات الكالسيوم أمكن التوصل إلى مستوى من إزالة التلوث بلغ 50٪ إلاّ أن المنتج النهائي كان له طعم غير مقبول. إن البيروفوسفات لكل من الكالسيوم والسترنشيوم قد أظهرت قابلية جيّدة على استخلاص السترنشيوم ـ90 المشع عندما تمّ وضع الحليب في تلامس مع حبيبات الألومنيوم والرمل التي تحتوي على البيروفوسفات الممتصة التي تم تجفيفها عند درجة 110°م ووضعت في عمود فصل زجاجي، وقد لوحظ نقصان مستمر في النشاط الإشعاعي في الحليب المعالج بهذه الطريقة. وكان النشاط الإشعاعي المتبقي للسترنشيوم حوالي 69٪ بعد ساعة واحدة من المعالجة و50٪ بعد ساعتين ونصف و26٪ بعد 10,5 ساعات و17٪ بعد 24 ساعة.

**2 ـ إزالة السترنشيوم ـ90 من الأغذية الأخرى**

أظهرت معالجة الخضروات بوساطة الغسل بالماء أو باستخدام 0,2٪ محلول حامض الستريك عند درجات حرارة مختلفة أن كفاءة إزالة السترنشيوم ـ85 كانت على الدوام أقل من كفاءة إزالة السيزيوم ـ137. وتطبق هذه الملحوظة على معظم الطرق الأخرى لإزالة التلوث.

ويمكن أن يخفض عمل المخللات والتعليب مستوى التلوث بالسيزيوم ـ137 بنسبة 94٪ والسترنشيوم بنسبة 65٪ فقط. أما في الفاصوليا المعلبة فكانت نسبة الإزالة 63٪ و46٪ للسيزيوم والسترنشيوم على التوالي. وفي الملفوف المعلب 77٪ و58٪ وفي الملفوف المجمد 25٪ و7٪ وفي الخيار المعلب 95٪ و64٪ وفي البطاطا الحلوة المقشرة والمسلوقة 26٪ و15٪ على التوالي.

وقد تم استخدام المبادلات الموجبة الراتنجية لإزالة السترنشيوم من الطماطم والفراولة ولكن أكبر انخفاض في مستوى السترنشيوم ـ90 قد وجد في حالة الفراولة المهروسة عن طريق ترسيب السترنشيوم باستخدام كربونات الكالسيوم. وبالرغم من أن 95٪ من النشاط الإشعاعي قد أزيل إلاّ أنه لوحظ إمكانية الحصول على 43٪ فقط من مادة الفراولة السائلة، وأن المنتج النهائي كان له طعم مالح. وقد أمكن باستخدام الديلزة الكهربائية إزالة السترنشيوم من عصير التفاح، وعلى مسار خطوات المعالجة لوحظ أن إزالة السترنشيوم ـ90 كان يحتاج إلى وقت أطول عند مقارنته بالسيزيوم ـ137.

## كيفية إزالة النظائر المشعة الأخرى من الأغذية

**1 ـ اليود**

ينتج عن الانشطار النووي كمية كبيرة من اليود ـ137 المشع. وفي حادثة المفاعل النووي في منطقة وند

سكيل (تسمى المنطقة حالياً سيلافيلد) في إنجلترا في أكتوبر 1957 وجد أن تركيز هذا النظير في الحليب في بعض المناطق قد زاد عن 3700 بكريل / لتر أما بعد حادث تشرنوبيل فقد أمكن الكشف عن اليود -131 في جبنة «الموتزاريلا» (Mozzarella) المصدّرة من إيطاليا. وفي إحدى التجارب أعطيت جرعة مفردة من اليود المرقوم وأمكن استعادة ما بين 4٪ إلى 15٪ من الجرعة المعطاة في الحليب. وبسبب عمر النصف القصير لليود -131 فإن الحليب الملوث بهذا النظير المشع قد يتم تحويله إلى منتجات ألبان قابلة للخزن لفترة طويلة نسبياً للسماح لعملية «الإضمحلال الإشعاعي» (Radioactive Decay) أن تأخذ مداها.

وفي حالة حدوث تلوث باليود -131 فمن الواجب اتخاذ بعض الإجراءات المهمة التي تتمثل في منع السكان من تناول الأغذية الطازجة. ومن جهة أخرى فإن استخدام الراتنجات ذات الأيونات السالبة يمكن أن يؤدي إلى إزالة 98٪ من اليود -131 من الحليب الخام الطازج المعالج، ولكن لا يمكن استرجاع البروتينات التي ترتبط مع اليود والتي تتراوح نسبتها من 0 إلى 10٪. وقد تمت تجربة معالجة ريادية تعتمد في عملها على أعمدة من المبادلات الأيونية وكذلك جهاز التلامس بطبقة مثبتة (Fixed-Bed Contactor) حيث أمكن إزالة 95٪ إلى 97٪ من اليود -131.

### 2 ـ الباريـــوم

في أعقاب حادث تشرنوبيل المعروف واكتشاف مستويات منخفضة من الباريوم -140 في الأجبان أجريت عدة تجارب بخصوص إمكانية إزالة الباريوم -133 والباريوم -140 من الحليب الخام الطازج باستخدام المبادلات الأيونية الراتنجية. وقد أظهرت النتائج إمكانية إزالة ما بين 88٪ و85 ـ 95٪ من الباريوم المشع. أما لغرض إزالة الباريوم والراديوم من الماء فقد تم استخدام الراتنجات الحامضية القوية وكذلك الضعيفة، ووجد أن أكثر من 95٪ من كل من النويدات المشعة أعلاه يمكن إزالتها.

### 3 ـ السيريوم والزركونيوم والنيوبيوم والروثنيوم

أظهرت بعض الدراسات التي أجريت على الجرذان في وقت مبكر من ظهور التكنولوجيا النووية أن النويدات المشعة التالية : السيريوم -144 والزركونيوم -95 والنيوبيوم -95 والروثنيوم -106 تمتص بكميات ضئيلة بحيث يمكن تجاهلها. أما الدراسات اللاحقة فقد أشارت إلى إمكانية امتصاص النيوبيوم المستقر في الإنسان بنسبة تزيد على 60٪، إلاّ أن هذه النتيجة لم يتم تأكيدها في دراسة تضمّنت أيض (Metabo-lism) كل من الزركونيوم -95 والنيوبيوم -95 في الجرذان حيث وجد أن الامتصاص عن طريق القناة الهضمية يعتمد على الصيغ الكيميائية لهذه النويدات، ومع ذلك لا يزيد الامتصاص على 0.2٪ ويبدو أن العظام تمثل الهدف الحرج (Critical Target) للزركونيوم -95 والخصيتين بالنسبة للنيوبيوم -95 . وهناك دراسات قليلة جداً تتطرق إلى كيفية إزالة الزركونيوم من البطاطا، حيث أشارت إحدى الدراسات إلى إزالة ما معدله 55٪ عن طريق الغسل بالماء الحار في درجة 70°م أو استخدام محلول حامض الستريك (0.2٪) وكانت نفس هذه المعالجة أكثر كفاءة في حالة السيريوم -144 حيث أمكن إزالة 80٪ منه.

أما نتائج الدراسات الخاصة بالخضروات الأخرى فأشارت إلى أن كفاءة إزالة التلوث كانت مشابهة لكل من السيريوم والسترنشيوم ولكنها كانت أقل بالنسبة للسيزيوم.

### 4 ـ الكوبلت واليورانيوم

تطرقت عدة دراسات إلى إزالة عناصر مشعة أخرى مثل الكوبلت (Co) واليورانيوم (U) من المياه الحاوية على نشاط إشعاعي وليس في الأغذية السائلة.

**د. حسين الونداوي**

**دائرة البحوث البيئية ووقاية العاملين**

**منظمة الطاقة الذرية العراقية**

# أخبار عالمية*

## المملكة المتحدة / روسيا : كوك يتعهد بالمساهمة في عمليات التنظيف الروسية

صرّح السيد روبن كوك وزير الخارجية البريطاني خلال زيارة له في أوائل شهر مارس 1999 إلى مدينة مرمانسك الواقعة في شمال روسيا أن المملكة المتحدة على استعداد لتخصيص مبلغ 3 مليون جنيه استرليني (ما يعادل حوالي 4,8 مليون دولار أمريكي لمعالجة مشكلة النفايات النووية الناجمة عن تفكيك غواصات الأسطول الشمالي النووية .

وخلال مؤتمر صحفي قال كوك : «باستطاعتي اليوم أن أعلن عن برنامج بريطاني يهدف للمساعدة على معالجة هذه القضية الملحة، وسوف نقدم أكثر من 3 مليون جنيه استرليني لتحسين إدارة النفايات النووية الروسية، هذا وسوف يستخدم الجزء الأكبر من هذا المبلغ لإنشاء وحدات تخزين لنفايات الوقود النووي» .

كما أضاف قائلاً : «سوف تقوم بريطانيا بالتفاوض مع السلطات الروسية حول كيفية إدراج امكانيات جديدة واستحداث وسائل اضافية لهذا الغرض» ثم استطرد مبيناً أن لمشكلة النفايات النووية منظور دولي.

وسوف يخصص جزء من هذا المبلغ لإزالة الوقود المستهلك المخزن حالياً على سفينة مائية في مرفأ مرمانسك ، حيث تحتوي السفينة «ليبيس» Lepse على أكثر من 600 عنصر من عناصر الوقود وبعض هذه العناصر تالفة بالدرجة التي تصبح معها عملية إزالة الوقود المستهلك منها أصعب. ويتم إعداد تقارير حول الأمان والبيئة من قبل هيئة دولية مالية لتقديم المساعدات برئاسة الوكالة الدولية للطاقة الذرية و SGN الفرنسية وسوف تشكل هذه التقارير قاعدة للخطط المستقبلية لإزالة الوقود .

هذا وتبلغ التكلفة الإجمالية لتنظيف المواقع النووية في المنطقة الشمالية الغربية لروسيا 400 مليون دولاراً أمريكياً وفقاً لتقديرات شركة الوقود النووي البريطاني المحدودة (BNFL) .

ويقترح بناء موقع تخزين مؤقت للنفايات الروسية في ماياك الواقعة في روسيا الوسطى تقدر تكلفته بحوالي مائة مليون دولار. وتعمل شركة الوقود النووي البريطاني المحدودة كذلك مع الحكومة النرويجية لمجابهة مشاكل النفايات في المنشأة البحرية الروسية الواقعة في خليج أندريفا (Andreeva Bay Facility) كما أن لديها فريق في محطة لينينغراد للطاقة النووية .

وفي الأسطول النووي، ينتج عن عملية إعادة شحن وإصلاح السفن المدنية بالوسائل النووية بمفردها ما يعادل 1200م$^3$ من النفايات المشعة السائلة سنوياً .

وقد أشار روبن كوك في هذا الإطار إلى أن «هناك خطر بيئي أكيد في هذا المجال وهناك أساس يمكن أن ترتكز المجموعة الأوروبية عليه لمباشرة الموضوع بشكل مسؤول» وقد وعد بأن يبذل قصارى جهده لإشراك كافة الدول الغربية في حل واحد مشترك .

ويواصل بعض المسؤولون الغربيون الشكوى من أن رغبة روسيا في الإبقاء على الغرباء والأجانب بعيداً عن قواعدها العسكرية وعن الشريط البيروقراطي الأحمر هي التي تعرقل الجهود الموجهة لمعالجة موضوع النفايات .

وقد صرّح كوك في هذا الإطار قائلاً «يشكل نقص الانفتاح وكوننا نقترب ممّا يعتبرونه قلب قطاع الدفاع الخاص بهم جزءاً هاماً من المشكلة». ورغم أن روسيا قد نقلت مسؤولية معالجة النفايات النووية من مجال الرقابة العسكرية إلى مجال الرقابة المدنية فإنه لا يوجد إلاّ دلائل قليلة على هذا التغيير .

هذا وترغب المملكة المتحدة في أن تقوم روسيا بتوقيع إتفاقية تضمن تأمين نظام غير خاضع للضرائب بالنسبة للتكنولوجيا المستوردة التي ستستخدم للمساعدة في إزالة الفوضى السائدة في مجال النفايات من ناحية كما تضمن تعويض المتعهدين من ناحية أخرى .

**ترجمة : نسرين اليحيى الكوكي**

* مترجمة عن مجلة "Nuclear Engineering International" عدد أبريل 1999 ـ ص : 3 .

## نشاط الإدارة العامة

### 1 - الندوة العلمية الأولى في مجال الخامات النووية وتقنياتها (القاهرة 1 - 1999/11/3)

بناء على الدعوة الموجهة من وزارة الكهرباء والطاقة ــ هيئة المواد النووية في جمهورية مصر العربية حضر الدكتور محمود عباس مدير إدارة العلوم في الهيئة العربية للطاقة الذرية أعمال الندوة العلمية الأولى في مجال الخامات النووية وتقنياتها التي عقدت في القاهرة خلال الفترة 1 ـ 3/11/1999.

وقد ألقى ممثل الهيئة بالإنابة عن المدير العام للهيئة، كلمة في افتتاح أعمال الندوة أظهر فيها أهمية دعم الجهود الموجهة للبحث والتنقيب عن الخامات النووية واستخراجها ودعم البحوث والدراسات الهادفة التي تساعد في إنتاج عنصري اليورانيوم والثوريوم اللذين يستخدمان في الوقود النووي لمحطات القوى النووية لإنتاج الكهرباء أو لإزالة ملوحة مياه البحر.

وشارك في الندوة مجموعة من الشخصيات العلمية العربية والأجنبية التي قدمت بحوثاً ودراسات في المجالات التالية:

1 ـ الكشف عن الخامات النووية بالطرق الجيوفيزيائية والجيوكيميائية

2 ـ تكنولوجيات استخلاص وتركيز عناصر الوقود النووي

3 ـ تكنولوجيات المواد ذات الأهمية للصناعات النووية (بورون ــ بريليوم ـ زركونيوم ــ هافنيوم ــ إتريوم ... الخ)

4 ـ تقنيات التقدير والكشف عن مواد دورة الوقود النووي والمواد المتصلة بها

5 ـ الدراسات التطبيقية للإستخدامات النووية السلمية في المجالات البيولوجية والزراعية والفيزيائية والكيميائية وتأثير الإشعاع

6 ـ الدراسات التطبيقية المتعلقة بانتشار المواد النووية في البيئة

7 ـ دراسات التخلص الآمن من مواد الوقود المحترق

8 ـ دراسات التخلص الآمن من مخلفات تعدين وتصنيع المواد النووية

9 ـ الوقاية من الإشعاع في مجالات التطبيقات السلمية للطاقة النووية

وقد تولى ممثل الهيئة العربية رئاسة الجلسة الأولى للندوة كما قام بتقديم ورقة عمل الهيئة إلى الندوة بعنوان «استراتيجية الهيئة العربية للطاقة الذرية في مجال توفير المواد والخامات الذرية في الوطن العربي»، حيث استعرض فيها مشاريع الهيئة وبرامجها الماضية والمستقبلية في تدريب الكوادر البشرية في هذا المجال وجهودها في إعداد الدراسات المتعلقة بحصر المواد النووية المتوافرة في الوطن العربي.

### 2 - المؤتمر السنوي الرابع لمركز دراسات المستقبل (القاهرة 16 - 1999/11/18)

بناء على دعوة مركز دراسات المستقبل في جامعة أسيوط للمشاركة في مؤتمره السنوي الرابع، حضر المدير العام للهيئة الأستاذ الدكتور محمود بركات المؤتمر السنوي للمركز الذي انتظم في القاهرة للفترة من 16 ـ 18/11/1999.

وقام المدير العام بتقديم ورقة عمل في المؤتمر بعنوان "الوضع الحالي ومستقبل الإستخدامات السلمية للطاقة الذرية في العالم العربي وآفاق ذلك في إطار التقدم العالمي"

وقد تناولت محاور المؤتمر موضوعات إنشاء منطقة خالية من أسلحة الدمار الشامل في الشرق الأوسط ومستقبل السلام في ظل غياب الاستراتيجية في الشرق الأوسط وكذلك تقييم فعالية النظام الدولي لمنع انتشار الأسلحة النووية في عصر ما بعد الحرب الباردة ومعاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية (NPT) ومعاهدة الحظر الشامل للتجارب النووية (CTBT) واتفاقية إنشاء المحكمة الجنائية الدولية بالإضافة إلى دور الوكالة الدولية للطاقة الذرية ودور مؤتمر جنيف لنزع الأسلحة.

### 3 - إجتماع مركز الشرق الأوسط الإقليمي للنظائر المشعة للدول العربية (القاهرة 11ـ1999/12/15)

بناء على دعوة مدير مركز الشرق الأوسط الإقليمي للنظائر المشعة للدول العربية حضر المدير العام اجتماعات الدورة الرابعة والخمسين لمجلس إدارة مركز الشرق الأوسط الإقليمي للنظائر المشعة للدول العربية. كما حضر كذلك اجتماعات الجمعية العامة للمركز يوم 15/12/1999. وفيما يلي عرض لما تم في هذه الإجتماعات.

**أولاً: اجتماعات مجلس إدارة المركز**

بدأت جلسات المجلس بالجلسة الإفتتاحية التي عقدت برئاسة ممثل جمهورية مصر العربية أ.د. عبد الحميد حسين زهران وبحضور مدير مركز الشرق الأوسط الإقليمي للنظائر المشعة

# إجتماعات المجالس واللجان

## 1 - إجتماع اللجنة العلمية الإستشارية غير المتفرغة (تونس: 6 - 1999/10/10)

عقدت اللجنة العلمية الإستشارية غير المتفرغة للهيئة العربية للطاقة الذرية اجتماعها الرابع عشر في تونس خلال الفترة 6 - 10 / 10 / 1999 برئاسة الدكتور عبد الله الخليوي وبحضور أعضائها الكرام.

وممثلين عن كل من السعودية وسورية واليمن ومصر والسودان وفلسطين والأردن والهيئة العربية للطاقة الذرية .

وبعد اعتماد جدول الأعمال توزعت الموضوعات العلمية على اللجنة العلمية الإستشارية والموضوعات المالية الإدارية على اللجنة المالية الإدارية. وقد شارك المدير العام في عضوية اللجنة العلمية الإستشارية. وفيما يلي نورد أهم توصيات اللجنة .

- توجيه الشكر لمدير المركز والعاملين فيه على ما بذلوه من جهود.

- الموافقة على البرامج المقترحة لعام 2000 والتوصية بإنقاص المدد المخصصة لها .

- الموافقة على منَح الزمالة وعددها ثلاثة للمشاريع البحثيَة.

أما بالنسبة لقرارات المجلس فهي كما يلي :

1 - حث الدول العربية التي لم تسدد اشتراكاتها السنوية على الوفاء بالتزماتها المالية تجاه المركز

2 - إقرار موازنة عام 2000

3 - الموافقة على ما انتهت إليه اللجنة العلمية الإستشارية بخصوص البرامج العلمية للمركز والتي تتلخص في البرامج التالية :

أ - برنامج استخدام النظائر في تقدير المتبقيات من الأسمدة والمبيدات في البيئة (مايو 2000)

ب - تطبيقات النظائر والوقاية من الإشعاع (يونيو 2000)

ج - تحسين المحاصيل الزراعية باستخدام الطفرات المعدة بالأساليب الإشعاعية واستخدام طرق زراعة الأنسجة (أغسطس 2000).

د - تطبيقات النظائر والإشعاع في التكنولوجيا الحيوية (أكتوبر/نوفمبر 2000).

هـ - الإستعداد الطبي للحوادث الإشعاعية (ديسمبر 2000)

4 - الموافقة على منح الزمالة الثلاثة :

أ - الطب النووي واستخدام المناعة الإشعاعية تشخيصا وعلاجا

ب - استخدام النظائر المشعة في القياسات البيئية والمياه الجوفية

ج - استخدام النظائر المشعة والإشعاع في التقانة الحيوية وتحسين المحاصيل تحت الظروف الصحراوية.

5 - عقد ندوة بالقاهرة عن استخدام النظائر المشعة والإشعاع في الدراسات النباتية وعلاقتها بمتبقيات الأسمدة والمبيدات

وقد صدرت كذلك بعض القرارات الإضافية ذات الصبغة الإدارية

**ثانيا : اجتماعات الجمعية العمومية في دورتها التاسعة عشرة للمركز**

اجتمعت الجمعية العمومية يوم 15 ديسمبر 1999 برئاسة الدكتور أسعد لطفي من سوريا وبحضور ممثلي الأردن والسعودية وفلسطين والسودان ومصر والهيئة العربية للطاقة الذرية .

وقد تم تشكيل مجلس الإدارة للعامين القادمين على النحو التالي :

- المملكة العربية السعودية (انتخبت رئيساً لمدة عامين قادمين)

- الجمهورية العربية السورية (انتخبت نائباً للرئيس لمدة عامين قادمين)

- دولة فلسطين

- جمهورية مصر العربية (مقعد دائم)

وقد وافقت الجمعية العامة بالإجماع على اعتماد قرار مجلس الإدارة بشأن عقد اجتماعات المجلس مرة واحدة سنوياً ويمكن له أن يجتمع إذا ما طلب رئيسه ذلك أو طلبته دولتان من الدول الأعضاء.

وقد تولى أعضاء اللجنة دراسة ومناقشة الموضوعات المعروضة على جدول الأعمال وأصدروا بشأنها توصياتهم في عدد من المحاور، فقد ناقشت اللجنة تقرير وتوصيات ورشة العمل حول تشعيع الغذاء في منطقة الشرق الأدنى وكذلك ناقشت توصيات المؤتمر العربي الرابع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية واطلعت اللجنة على إجراءات تحكيم البحوث العلمية المقدمة إلى المؤتمر العربي الخامس للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية بالإضافة إلى استعراض التعاون في مجال شبكات الرصد الإشعاعي البيئي والإنذار المبكر والنظر في نموذج خطة قطرية للطوارىء النووية.

كما ناقشت اللجنة أيضاً سبل وآليات تطوير العمل في مركز العلوم النووية بتونس واطلعت على الاستعدادات لعقد ندوة موسعة في موضوع النظام الدولي للضمانات النووية. ودرست الكتب المقترحة على الهيئة لغرض النشر العلمي.

وقد رفعت توصيات اللجنة إلى المجلس التنفيذي خلال دورته العادية الرابعة والعشرين للتفضل بإقرارها .

## 2 - إجتماع المجلس التنفيذي للهيئة (تونس: 6-1999/12/10)

عقد المجلس التنفيذي دورة اجتماعاته الرابعة والعشرين في تونس خلال الفترة 6 - 10 / 12 / 1999 برئاسة سعادة الأستاذ الدكتور عبد الحميد زهران ممثل جمهورية مصر العربية وبمشاركة وفود من كل من الدول الأعضاء التالية : المملكة الأردنية الهاشمية والجمهورية التونسية والمملكة العربية السعودية وجمهورية العراق والجمهورية العربية السورية ودولة فلسطين ودولة الكويت والجمهورية اللبنانية والجماهيرية الليبية وجمهورية مصر العربية بالإضافة إلى مندوب عن دولة الإمارات العربية المتحدة وممثل عن الأمانة العامة

لجامعة الدول العربية ومدير مركز الشرق الأوسط الإقليمي للنظائر المشعة في الدول العربية.

وقد قام المجلس بدراسة الموضوعات المعروضة على جدول أعماله وأصدر بشأنها قراراته في المجالات التالية :

ففي مجال الشؤون العلمية ناقش المجلس تقرير أداء وإنجازات الهيئة لعام 1999 وتوصيات اللجنة العلمية الإستشارية غير المتفرغة، واطلع على تقرير وتوصيات المؤتمر العربي الرابع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية، كما اطلع على حركة البحوث المقدمة إلى المؤتمر العربي الخامس للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية واستعرض البحوث العلمية المنجزة بالإضافة إلى الأنشطة العلمية المقترحة من قبل الدول والكتب المقترحة على الهيئة لنشرها. كما اطلع المجلس على سير التعاون العربي في مجال شبكات الرصد الإشعاعي البيئي ونموذج للخطة القطرية للطوارىء النووية.

وفي مجال الشؤون المالية ناقش المجلس الوضع المالي للهيئة وموقف تسديد الدول لمساهماتها في ميزانية الهيئة لعام 1999 وكذلك المتأخرات في ميزانيات الهيئة السابقة وسبل تمويل بناء مقر للهيئة.

وفي مجال التعاون العربي والدولي استعرض المجلس نشاط الإدارة العامة للهيئة لدى جامعة الدول العربية والوكالة الدولية للطاقة الذرية وفي المشاركة في بعض الإجتماعات العلمية الدولية.

## الإجتماعات العلمية

### 1 ـ اجتماع الخبراء حول مشروع دراسة تركيزات غاز الرادون في المنازل (القاهرة: 20ـ1999/11/22)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع منظمة الصحة العالمية ـ المكتب الإقليمي لشرق المتوسط اجتماع خبراء تنسيقي للجان الوطنية المشاركة في مشروع دراسة تركيزات غاز الرادون في المنازل الذي عقد في القاهرة خلال المدة 20 ـ 22/11/1999.

وقد حضر الإجتماع خبراء ومسؤولون حكوميون من ست دول عربية هي : مصر وليبيا وتونس والسعودية والأردن وسوريا وذلك لتنسيق العمل في دراسة وقياس تراكم غاز الرادون في المنازل في المناطق الحضرية والريفية في عدد من الدول العربية التي أبدت استعدادها للمشاركة في هذه الدراسة.

وقد حددت لهذا الاجتماع الأهداف التالية :

1) تحديد مجال المشروع
2) تحديد أساليب العمل والمعدات
3) تحديد الفترة الزمنية للانتهاء من العمل
4) تحديد التكلفة الكليّة للمشروع
5) مخططات التمويل بما فيها مساهمات الدول العربية المشاركة في المشروع.

وقد استمرت المناقشات لاقتراح خطة عمل للفرق القطرية لمدة عام وربما أكثر مع التركيز على إعطاء أهمية لعملية توكيد الجودة للأجهزة والبيانات الصادرة عنها، بالإضافة إلى القيام بمسح لتمييز الأماكن التي يحدث فيها تعرّض مرتفع بالنسبة للجمهور في المدن الكبيرة مع استعمال الطرق والأساليب الإحصائية المتبعة في المجال.

بعد ذلك جرى نقاش مستفيض لتحديد الخطوات العملية للمشروع المطروح واتفق على الشكل العام التالي له :

1) مسح شامل لتحديد أية أماكن قد تتواجد فيها المخاطر المرتفعة التي يتسبب فيها غاز الرادون وتوابعه.

2) إجراء قياسات تفصيلية لتحديد قيمة الجرعة المترتبة على هذه المستويات المرتفعة.

3) إجراء المسح في عواصم الدول التي ستكون لها الأولوية والمساكن في المجتمعات المجاورة للمناجم ومصانع معالجة الخامات (الفسفات، البترول والأسمنت إلخ...).

4) وضع جهاز للتقدير في المدن المأهولة على مختلف مستويات الطوابق.

5) إجراء القياسات في منازل المناطق الصناعية مع نفس أسس القياس التي ستتبع في المدن.

6) إجراء عمليات تقنين مقارن للأجهزة فيما بينها على الصعيد الاقليمي.

7) تحديد مستوى التدخل للإجراءات التصحيحية وتحديد طرق القياس الدقيقة المستمرة فيما بعد وذلك بعد انتهاء برنامج المسح والإطلاع على نتائجه.

8) استعراض وتحديد المتطلبات لكل دولة مشاركة حسب ما اتفق عليه أثناء الإجتماع، أما الخطوات القادمة للمشروع فتتلخص فيما يلي :

- دراسة متطلبات المشروع من واقع تقارير الدول المشاركة به.
- تقدير المتطلبات المالية.
- استمرار الاتصال والتعاون مع WHO/EMRO بعد العرض على المجلس التنفيذي لاستكمال التعاون المستقبلي اللازم لإتمام المشروع.

وقد قامت الهيئة بالاتصال مع مكتب WHO/EMRO لبحث مدى رغبته في الاستمرار في المشروع إلى مرحلة التوصل إلى نتائج أولية ولتحديد الخطوات المستقبلية التي يجب اتخاذها لوضع المشروع موضع التنفيذ والمبالغ المتوقعة لهذا الإنجاز، فكان رد المكتب بأنه يمكن المساعدة في توفير الخبرات الفنية حيث يمكن له مراجعة البيانات الناتجة عن المسوحات وكذلك الوثائق اللازمة لإنجاز المشروع مع عدم تمكنهم من الدعم المالي.

## الحلقات الدراسية

### 1 ـ حلقة دراسية حول استخدام الأساليب النووية والإشعاعية في علوم المياه السطحية (عمان: 7 ـ 1999/11/16)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع وزارة الطاقة والثروة المعدنية الأردنية حلقة دراسية حول استخدام الأساليب النووية والإشعاعية في علوم المياه السطحية في عمّان خلا ل الفترة 7 ـ 16/ 11/ 1999 .

وقد استهدفت الحلقة دعم جهود الأقطار العربية لتلبية احتياجاتها المائية وتقليص الفجوة بين الطلب المتنامي على الماء والموارد المتاحة في سبيل تحقيق تنمية مستديمة، كما استهدفت إتاحة الفرصة لعدد من الكوادر العلمية في الأقطار العربية العاملة في مجال علوم المياه للالتقاء وتقديم بحوثهم وتقاريرهم الفنية في إطار تبادل الخبرات بين أبناء الوطن العربي، وإتاحة الفرصة لعدد آخر للتدرب على مختلف الجوانب النظرية والعملية المتعلقة بموضوع الحلقة.

شارك في الحلقة 13مشاركا من المتخصصين من 9 دول عربية هي : لبنان وليبيا والعراق والسودان وسورية واليمن والكويت وتونس ومصر.

وقد اشتملت الحلقة على المحاور التالية :

1 ـ تطبيقات النظائر البيئية في مياه الأمطار.

2 ـ هيدرولوجية الأودية والتوازن المائي .

3 ـ دراسة التغذية الطبيعية من المياه السطحية للمياه الجوفية باستخدام النظائر البيئية

4 ـ سدود التغذية الإصطناعية للمياه الجوفية وتطبيقات النظائر البيئية ،

5 ـ الهيدروكيمياء والنماذج الهيدروكيميائية في علوم المياه السطحية.

6 ـ تقنيات القياس المتبعة في تحديد النويدات المشعة في علوم المياه السطحية.

7 ـ حالات دراسية حول تطبيقات النظائر البيئية في مصادر المياه في الأردن ودول عربية أخرى

8 ـ برنامج تدريبي في مختبر النظائر لدى سلطة المياه الأردنية على تحاليل النظائر المشعة والنظائر الثابتة وكذلك نظائر الراديوم واليورانيوم

9 ـ دراسات ميدانية .

وقد تمت الحلقة بنجاح واختتمت بجلسة نقاش قيّم فيها المشاركون أعمال الحلقة وأصدروا عدداً من التوصيات. وفي نهاية أعمال الحلقة تمّ توزيع الشهادات على المشاركين فيها .

## ورشات العمل

### 1 ـ ورشة عمل دولية حول الإستعدادات والإجراءات الطبية في حالة الطوارئ الإشعاعية (القاهرة: 14ـ1999/11/28)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع منظمة الصحة العالمية ـ المكتب الإقليمي لشرق المتوسط والوكالة الدولية للطاقة الذرية ومركز القصر العيني لعلاج الأورام والطب النووي ـ كلية الطب جامعة القاهرة ورشة عمل دولية حول الإستعدادات والإجراءات الطبية في حالة الطوارئ الإشعاعية بكلية الطب ـ جامعة القاهرة، خلال المدة 14ـ18/ 11/ 1999 .

وقد استهدفت الورشة تدريب الأطباء والفيزيائيين ومن في مستواهم ممّن يعدون للعمل في مراكز الطوارئ النووية والمستشفيات العلاجية العائدة لها لتمكينهم من تفهم قضايا الإشعاع والتعرض له ومظاهر وأنواع الإصابات الإشعاعية والسبل الممكنة لكشف الإشعاع والأجهزة المستخدمة في ذلك بالإضافة إلى أساليب قياس التلوث الإشعاعي للإنسان داخل الجسم وخارجه كما استهدفت الورشة تمكين المتدربين من أساسيات البيولوجيا الإشعاعية وآثار التعرض الإشعاعي الحادة وتطور الإصابة الإشعاعية وأساليب الكشف السريري وطرق معالجة آثار التعرض الإشعاعي ثم إجراءات التعاون في حالة الحوادث والدروس المستفادة من الحوادث الإشعاعية المعلنة.

شارك في الورشة 22 متدرباً من 9 دول عربية هي : لبنان والسودان والأردن وفلسطين والعراق والإمارات وسوريا وليبيا ومصر.

وقد اشتمل برنامج الورشة على الموضوعات التالية :

1 ـ الحوادث الإشعاعية : المجال والمشاكل والإحصائيات .

2 ـ المبادئ الأساسية لفيزياء الإشعاع، مستوى الخلفية الإشعاعية الطبيعية وفي حالة الحوادث.

3 ـ مفاهيم الجرعة والكمية والوحدات، والجرعة المحددة الموصى بها من قبل ICRP (المجلس الدولي للوقاية الإشعاعية)

4 ـ الكشف عن الإشعاعات ووسائل رصدها واستخدام هذه الوسائل

5 ـ التأثيرات البيولوجية للإشعاعات المؤينة

6 ـ منحنى الجرعة/التأثير، والتأثيرات المحددة والعتبية (stochastic) للتعرض للإشعاعات المؤينة

7 ـ تقديرات الجرعة الناجمة عن حادث تشرنوبيل

8 ـ أعراض الإشعاعات الحادة ومراحلها وتشخيصها وكيفية التعامل معها.

9 ـ التعامل مع الإصابات الإشعاعية المتعددة.

10 ـ الإصابة الموضعية بالإشعاع :

الأعـراض الناجـمـة عن الجـرعـة، تشخيصها وعلاجها

11 ـ الإحـصـاءات عن إصـابات السرطان بسبب الإشعاعات.

12 ـ تقييم وعلاج التلوث الخارجي والداخلي

13 ـ ضبط التلوث للعاملين في سيارات الإسعاف

14 ـ عناصر خطة الطوارئ وتنظيم فريق الطوارئ

15 ـ ضبط التلوث في المستشفيات

16 ـ التأثيرات المؤجلة للتعرض الإشعاعي

17 ـ اعتبارات تعدد المصابين في الحوادث والإرهاب النووي والجوانب الطبية

18 ـ الدروس المستفادة من مختلف الحوادث الماضية

19 ـ الجوانب النفسية في الحوادث الإشعاعية

20 ـ التعاون الدولي في مجال المساعدة الطبية لحالات الطوارئ الإشعاعية

21 ـ استعمال اليود لإشباع الغدة الدرقية في حالات الطوارئ النووية

22 ـ دور مؤسسات الصحة العامة في الطوارئ النووية والإشعاعية وفي مجال اتخاذ القرار.

واختتمت ورشة العمل بجلسة نقاش عامة، حضرها المدير العام للهيئة وجميع الحاضرين والمتدربين وتم فيها استطلاع رأيهم فرداً فرداً. وقد عبّروا عن رضاهم الكامل عن المحتوى العلمي والفائدة الكبيرة التي عادت عليهم من مشاركتهم في هذا النشاط. كما عبر الدكتور ساوشكيفيتش (G. Souchkevitch) من منظمة الصحة العالمية عن تقديره للبرنامج الذي يعتبره أول برنامج من نوعه يقام على المستوى الدولي، وبيّن أن نجاحه سوف يشجع الوكالة والمنظمة على تكراره في مناطق أخرى من العالم. كما عبّر المشاركون عن عميق شكرهم للمنظمين وأوصوا بتكرار هذا البرنامج لما ينطوي عليه من أهمية وخصوصاً بعد تكرار وقوع بعض الحوادث الإشعاعية في العالم. كما تم توزيع الشهادات على المشاركين في ورشة العمل.

# الدورات التدريبية

## 1 ـ الدورة التدريبية حول استخدام التقانات النووية في ترشيد مياه الري تحت ظروف المناطق الجافة (تونس: 16ـ1999/10/27)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع هيئة الطاقة الذرية المصرية الدورة التدريبية حول استخدام التقانات النووية في ترشيد مياه الرّي تحت ظروف المناطق الجافة التي عقدت في القاهرة خلال المدة 16ـ27/10/1999.

وقد استهدفت الدورة تعريف وتأهيل ونشر التقنيات النووية الخاصة بترشيد وجدولة إستعمال مياه الري تحت ظروف المناطق الجافة وشبه الجافة في الوطن العربي.

شارك في الدورة 14 متدرّباً من 6 دول عربية هي: السعودية وليبيا والعراق وسورية ومصر وفلسطين.

وقد اشتملت الدورة على مجموعة من الدروس النظرية والعملية في الموضوعات التالية:

1 ـ مشكلة المياه في العالم العربي.

2 ـ أسس استخدام التقانات النووية في مجال بحوث الرّي والمياه الجوفية.

3 ـ أسس استخدام جهاز تشتت النترونات في مجال ترشيد استخدام المياه.

4 ـ تطبيقات جهاز تشتت النترونات في مجال ترشيد إستخدام المياه.

5 ـ إستخدام وسائل الرّي الحديثة لترشيد استخدام المياه.

6 ـ إستخدام مصادر مائية غير تقليدية (مياه مالحة ـ مياه مجاري ـ مياه صرف زراعي).

7 ـ إستخدام البيانات المناخية لتقدير البخر الكلي (Evapotranspiration) وعلاقته بترشيد استخدام مياه الرّي.

8 ـ الإجهاد الرطوبي وبيولوجيا التربة.

9 ـ حركية العناصر الغذائية وعلاقتها بطرق الرّي.

10 ـ أثر النقص الرطوبي على استخدام جهاز التشتت النتروني.

وقد تمت الدورة بنجاح واختتمت بجلسة نقاش عامة عبّر فيها المشاركون عن آرائهم بالنسبة للدورة وفي الختام تم توزيع الشهادات على المشاركين في الدورة.

## 2 ـ دورة تدريبية حول تشغيل واستخدام مفاعلات البحوث

**(طرابلس: 11/28 ـ 1999/12/8)**

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع مركز البحوث النووية بتاجوراء ـ طرابلس ـ الجماهيرية الليبية الدورة التدريبية في مجال مفاعلات البحوث وتطبيقاتها خلال الفترة 28/11 ـ 8/12/1999.

وقد استهدفت الدورة تعريف عدد من الكوادر العلمية العربية الشابة ببرامج التشغيل الخاصة بمفاعلات البحوث وإطلاعهم على العمليات التي يقوم بها المشغلون لإعداد المفاعل للتشغيل ولتنفيذ طلبات التشعيع المختلفة والحسابات الخاصة بهذه العمليات.

وشارك في الدورة 13 متدرّباً من 7 دول عربية هي: لبنان وسوريا والعراق ومصر والأردن وتونس وليبيا.

اشتملت الدورة على برنامج نظري لتأسيس المعلومات وتوضيح الأسس النظرية التي تستند عليها خطوات تشغيل المفاعل والحسابات اللازمة لذلك وكذلك برنامج عملي يشارك فيه المتدرب على النحو التالي:

**أ ـ البرنامج النظري**

1 ـ طبيعة المفاعلات

2 ـ الأنظمة التقنية في المفاعل

3 ـ إزالة الحرارة وتبريد المفاعل

4 ـ الحالة الإنتقالية للمفاعل وتأثير الزينون

5 ـ إدارة الوقود في قلب المفاعل

6 ـ نظام التحكم في مفاعل الأبحاث

7 ـ كيمياء الماء في المفاعل

**ب ـ البرنامج العملي**

1 ـ خطوات ما قبل التشغيل في المفاعل

2 ـ تحديد معدل ضخ مياه التبريد اللازم لتشغيل المفاعل في القدرة المقررة.

3 ـ الوصول إلى الحالة الحرجة عن طريق قضبان التحكم وعن طريق إضافة الوقود.

4 ـ قياس الفيض النتروني في قلب المفاعل وتحليل المعلومات

5 ـ معايرة قضبان التحكم ووحدات الوقود .

6 ـ وظائف العاملين أثناء حالات الطوارىء.

7 ـ التحليل بالتنشيط الإشعاعي .

8 ـ استخدام القنوات الأفقية في تجارب الفيزياء النووية .

9 ـ حساب احتراق الوقود عملياً .

وقد اختتمت الدورة بجلسة نقاش عامة أوصى فيها المتدربون بتكرار هذا النشاط، وتمّ في الختام توزيع الشهادات على المتدربين.

## 3 ـ البرنامج التأهيلي الأول للمشروع العربي للإختبارات اللاإتلافية في الصناعة (دمشق: 11/29 ـ 1999/12/9)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع هيئة الطاقة الذرية السورية البرنامج التأهيلي الأول للمشروع العربي للإختبارات اللاإتلافية في الصناعة في دمشق خلال المدة 11/29 ـ 1999/12/9 .

وقد استهدف البرنامج تدريب وتأهيل عدد من المتخصصين العرب في مجال الفحص بالتصوير الشعاعي للمستوى الأول (RT/1) من خلال تدريبهم على مختلف الجوانب النظرية والعملية وفق المواصفة الإقليمية العربية (ARAB-NDT-CERT-001) وبما يتوافق مع المواصفة العالمية (ISO-9712) في هذا المجال .

شارك في البرنامج 14 متدرباً من 9 دول عربية هي : العراق والسعودية ومصر والسودان ولبنان وليبيا وتونس وسورية والأردن.

تضمن البرنامج التأهيلي محاضرات نظرية وتدريبات عملية في المحاور التالية :

1 ـ طرق الإختبارات اللاإتلافية .

2 ـ الأسس الفيزيائية للتصوير الشعاعي.

3 ـ تجهيزات التصوير الشعاعي باستخدام الأشعة السينية وأشعة جاما .

4 ـ تطبيقات تقنيات التصوير الشعاعي .

5 ـ نظم تسجيل الأشعة النافذة وأفلام التصوير وأساليب الإظهار .

6 ـ إظهار العيوب في المواد والمعادن سواءً في المصبوبات أو اللحامات .

7 ـ الأكواد والمعايير .

8 ـ تأثير الإشعاع والوقاية منه أثناء العمليات.

وقد تم إجراء اختبارات يومية للمشاركين لبيان مدى استيعابهم للدروس النظرية والعملية التي يتضمنها البرنامج. ومنح المشاركون في نهاية البرنامج التأهيلي شهادات حضور دورة تدريبية للتأهيل في مجال الفحص بالتصوير الشعاعي للمستوى الأول .

ويمكن للمتدرب الحصول على شهادة مرخص من المستوى الأول بعد ممارسة عملية للمهنة لمدة 3 أشهر في بلده وبعد اجتياز امتحان تنظمه الهيئة مع الدولة المعنية لهذا الغرض .

## 4 ـ دورة تدريبية حول الطب النووي تشخيصاً وعلاجاً (القاهرة : 18 ـ 1999/12/27)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع مركز القصر العيني لعلاج الأورام والطب النووي ـ كلية الطب ـ جامعة القاهرة دورة تدريبية حول الطب النووي تشخيصاً وعلاجاً في القاهرة خلال الفترة 18ـ1999/12/27 .

وقد استهدفت الدورة تأهيل عدد من الكوادر العلمية العربية الشابة في مجال الطب النووي من خلال تدريبهم على مختلف الجوانب النظرية والعملية المتعلقة بهذا المجال.

شارك في الدورة 21 متدربا من 7 دول عربية هي : الأردن والسعودية والسودان وسوريا والعراق وليبيا ومصر .

وقد تناولت الدورة المواضيع التالية :

1 ـ الوقاية من الإشعاع في الطب النووي

2 ـ المسح الذري للعظام في تشخيص الأورام الأولية والثانوية والتهابات العظام

3 ـ المسح الذري الدموي والتنفسي في تشخيص جلطات الرئة

4 ـ دور المسح الذري في تشخيص أمراض الشريان التاجي وتقييم قدرة عضلة القلب الحيوية

5 ـ دور المسح الذري في تشخيص الإلتهابات والعدوى

6 ـ دور المسح الذري في تشخيص أورام المخ

7 ـ علاج أمراض الغدة الدرقية

8 ـ تشخيص أمراض الرئة والكبد

9 ـ تدريبات عملية.

وقد اختتمت الدورة بجلسة نقاش عامة طلب فيها المتدربون تكرار النشاط لأهميته الكبيرة في تدريب الأطباء وخاصة الشباب منهم على التقانات المتقدمة في الطب النووي مع الاهتمام بالجوانب المتعلقة بالأجهزة الطبية .

وتم في الختام توزيع الشهادات على المتدربين .

**إعداد : بسمة شباني**









**الهيئة اللبنانية للطاقة الذرية**
**بيروت**

**الهيئة العربية للطاقة الذرية**
**تونس**

**المجلس الوطني للبحوث العلمية**
**بيروت**

# المؤتمر العربي الخامس
# للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية

## بيروت : 13 ـ 2000/11/17

تنظم الهيئة العربية للطاقة الذرية المؤتمر العربي الخامس للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية بالإشتراك مع الهيئة اللبنانية للطاقة الذرية ـ المجلس الوطني للبحوث العلمية في بيروت خلال المدة 13 ـ 17 نوفمبر 2000 وذلك في إطار متابعة التقدم العلمي في الوطن العربي في مجال العلوم النووية وتقاناتها. ويهدف المؤتمر بصفة خاصة إلى إبراز نتائج ربط البحث العلمي بالتطبيقات العملية في مجال الاستخدام السلمي للطاقة الذرية .

يتناول المؤتمر البحوث العلمية الأصيلة ـ التي لم يسبق نشرها ـ والتي تقدّم بها باحثون عرب ضمن المحاور التالية:

1 ـ **العلوم النووية الأساسية** : الفيزياء النووية والإشعاعية ـ الكيمياء النووية الإشعاعية ـ البيولوجيا الإشعاعية ـ الأمان والوقاية من الإشعاع ـ الدراسات البيئية الإشعاعية .

2 ـ **تطبيقات النظائر** : الطب النووي والصيدلة الإشعاعية ـ الزراعة (تربة وتسميد وري ـ نبات ـ إنتاج حيواني ـ تشعيع أغذية) ـ الهيدرولوجيا والمياه السطحية ـ التحليل بالطرق النووية .

3 ـ **المفاعلات النووية وتقاناتها** : المفاعلات النووية ـ خامات نووية ـ وقود ومواد نووية .

وقد تمّ عرض البحوث الكاملة المقدمة إلى المؤتمر على اللجنة العلمية للمؤتمر التي قامت باختيار البحوث المطابقة لمحاور المؤتمر وإرسالها إلى محكمين متخصصين لتحكيمها، كما تمت مراسلة الباحثين لإعلامهم بقبول بحوثهم للإلقاء ضمن الجلسات العلمية للمؤتمر .

كما يشتمل برنامج المؤتمر ، بالإضافة إلى الأوراق العلمية ، على أوراق مدعوة يلقيها مجموعة من كبار العلماء في مجالات محاور المؤتمر. وسيتم على هامش المؤتمر تنظيم عدد من اللقاءات العلمية للمتخصصين تتناول مناقشة عدد من المشاكل العلمية والفنية في الوطن العربي .

وسيقام على هامش المؤتمر معرض للمعدات والأجهزة العلمية ذات العلاقة بالعلوم النووية وتطبيقاتها وشركات الحاسبات الإلكترونية ، ويسر الهيئة العربية للطاقة الذرية دعوة الشركات والمؤسسات العاملة في مجالات المؤتمر لعرض منتجاتها والتعريف بنشاطاتها في المؤتمر نظير رسم اشتراك يتفق عليه مسبقاً مع اللجنة التنفيذية للمؤتمر.

وبالإضافة للأنشطة العلمية للمؤتمر يتم تنظيم برامج سياحية لمن يرغب من المشاركين .

### المشاركة في المؤتمر :

يشترك في المؤتمر العلماء العرب من المتقدمين ببحوث للمؤتمر وكذلك الذين يرغبون في الحضور للمشاركة في الفعاليات المختلفة بالمؤتمر. ويتحمّل المشاركون بالحضور فقط نفقات سفرهم وإقامتهم وتقوم اللجنة التنفيذية للمؤتمر بتسهيل الحجز لهم في الفنادق بالأسعار المخفّضة .

### عنوان المراسلة :

للحصول على المزيد من المعلومات حول المشاركة يرجى التفضل بالمراسلة على العنوان التالي :

الهيئة اللبنانية للطاقة الذرية ـ ص.ب 8281-11 ـ بيروت ـ الجمهورية اللبنانية ـ فاكس : 00 961 1 840315

البريد الإلكتروني : ansc5@cnrs.edu.lb .

# كشاف موضوعي للمقالات المنشورة في نشرة الذرة والتنمية لعام 1999

## الأمان النووي والوقاية من الإشعاع

| الموضوع | الكاتب | العدد |
|---|---|---|
| 1 ـ الأكـواد المنظمة لـدرء المخـاطر الطبـيعـيـة والصنعيـة عن مفاعلات البحوث النووية | أ. د. محمد ممدوح خطّاب | المجلد 11 العدد 1 |
| 2 ـ الأكواد المنظمة لدرء الـمخاطر الزلزالية عن مواقع مـفاعلات القدرة النووية | أ. د. محمد ممدوح خطّاب | المجلد 11 العدد 1 |
| 3 ـ حول حادث الحرجية في محطة إعـادة معالجة اليورانيوم في اليابان | أ. د. محمد عبد الرحمـن سلامة | المجلد 11 العدد 3 |
| 4 ـ التطورات والتـغيرات في التـعليمـات الدولية الحديثـة للنقل الآمن للمواد ذات النشاط الإشعاعي | أ. د. رفعت محمد كامل الشناوي | المجلد 11 العدد 3 |

## البيئة والفيزياء الصحية

| الموضوع | الكاتب | العدد |
|---|---|---|
| 1 ـ كيفية التعامل مع حالات التلوث الإشعاعي الداخلي عن طريق الجروح | د. حسين الونداوي | المجلد 11 العدد 1 |
| 2 ـ تلوث الهواء وطرق الكشف عنه | أ. د. عاطف عليان | المجلد 11 العدد 2 |
| 3 ـ الرادون : مخاطره ومنافعه | عمار عبد الرحمـن السعد | المجلد 11 العدد 2 |
| 4 ـ الرادون وتأثيره على البيئة والإنسان | د. حسين الونداوي | المجلد 11 العدد 3 |
| 5 ـ تقصي الحـقائق حول الغبـار الذري المتساقط من التـجارب النووية : الجسيمات الحارة والحرب الباردة | بسمة شباني (ترجمة) | المجلد 11 العدد 3 |
| 6 ـ وكالة الطاقة النووية توضح تأثيرات الجرعات المنخفضة | م. نهلة نصر (ترجمة) | المجلد 11 العدد 4 |
| 7 ـ العوامل المؤثرة على التلوث الإشعاعي للأغذية والمياه | د. حسين الونداوي | المجلد 11 العدد 4 |
| 8 ـ كيفية إزالة التلوث الإشعاعي من المواد الغذائية والمياه | د. حسين الونداوي | المجلد 11 العدد 4 |

## الجيولوجيا النووية والوقود النووي

| الموضوع | الكاتب | العدد |
|---|---|---|
| 1 ـ أسلوب التـحـري الجيـوكـيـميـائي عن ترسـبـات خامـات اليورانيوم | د. موسى جعفر العطية | المجلد 11 العدد 2 |

## الزراعة وعلوم التربة

| الموضوع | الكاتب | العدد |
|---|---|---|
| 1 ـ المقتفيات النظائرية في دراسة التربة وتغذية النبات | د. علي عبد فهد | المجلد 11 العدد 1 |
| 2 ـ المبادىء الأساسية للتقنيات النووية في التنمية الزراعية | د. أحمد فؤاد الخولي | المجلد 11 العدد 2 |

## الطب النووي والبيولوجيا الإشعاعية


| الموضوع | الكاتب | الموقع |
|---|---|---|
| 1 ـ دراسة الإصابات السرطانية المستحثّة إشعاعياً | د. غسان عبد الله عليا (ترجمة) | المجلد 11 العدد 3 |
| 2 ـ القليل من الإشعاعات النووية قد يكون مفيداً | م. عبد الحكيم عامر الطويل | المجلد 11 العدد 4 |


## المفاعلات والطاقة النووية


| الموضوع | الكاتب | الموقع |
|---|---|---|
| 1 ـ الوجه الآخر لتشرنوبيل | م. نهلة نصر (ترجمة) | المجلد 11 العدد 1 |
| 2 ـ معلومات أساسية حول المفاعلات النووية | عادل محمد علي | المجلد 11 العدد 1 |
| 3 ـ الاتجاه إلي المفاعلات النووية لإنتاج الطاقة الكهربائية | د. محمد يحيى العاني | المجلد 11 العدد 3 |
| 4 ـ الحاجة إلى الطاقة النووية | يعرب قحطان الدوري | المجلد 11 العدد 3 |


## مكافحة الحشرات وحفظ الأغذية


| الموضوع | الكاتب | الموقع |
|---|---|---|
| 1 ـ استخدام الإشعاع في حفظ لحوم الأسماك والقشريات | أحمد صالح ساجت | المجلد 11 العدد 1 |
| 2 ـ استيراد الأغذية المعرضة للإشعاع في ظل واقع التشريع العربي | باسم محمد شهاب | المجلد 11 العدد 1 |
| 3 ـ التقانات النووية في المكافحة البيولوجية للآفات الحشرية | د. محمد منصور | المجلد 11 العدد 2 |
| 4 ـ تقييم الجدوى الإقتصادية لمعالجة الأغذية بالإشعاع | د. مؤيد رشدي الحكيم | المجلد 11 العدد 2 |
| 5 ـ استخدام النظائر المشعة في دراسة حياة الحشرات وقدرتها على التطور ومقاومة المبيدات | د. محمد منصور | المجلد 11 العدد 4 |


## النفايات المشعة


| الموضوع | الكاتب | الموقع |
|---|---|---|
| 1 ـ التخلّص من الفسفوجبسوم كنفايات مشعة باستعماله في الزراعة | د. محمد العودات | المجلد 11 العدد 2 |
| 2 ـ الحل النهائي لمشكلة النفايات المشعة | م. نهلة نصر (ترجمة) | المجلد 11 العدد 3 |


## تقنيات نووية متنوّعة


| الموضوع | الكاتب | الموقع |
|---|---|---|
| 1 ـ تقنية مقتفيات الأثر المشعة : الخصائص والتطبيقات الهندسية | حسن مظفّر الرزّو | المجلد 11 العدد 2 |
| 2 ـ معجلات الجسيمات المشحونة ذات الطاقة العالية | أ. د. محمد عزت عبد العزيز | المجلد 11 العدد 4 |
| 3 ـ حوار حول أشعة جاما | عمار عبد الرحمـن السعد | المجلد 11 العدد 4 |


## موضوعات عامة


| الموضوع | الكاتب | الموقع |
|---|---|---|
| 1 ـ تطور مفهوم التعليم الهندسي النووي | د. محمد حسن محمد حسن | المجلد 11 العدد 1 |
| 2 ـ الإتفاقية التعاونية الإقليمية الإفريقية «أفرا» | م. عبد الحكيم عامر الطويل (ترجمة) | المجلد 11 العدد 2 |
| 3 ـ دور الهيئة العربية للطاقة الذرية في دعم إنشاء منطقة التجارة الحرة العربية الكبرى | أ. د. محمود بركات | المجلد 11 العدد 3 |
| 4 ـ التفجير النووي للأغراض السلمية | فالح حسين جار الله | المجلد 11 العدد 4 |


**إعداد : م. نهلة نصر**

# قائمة مطبوعات الهيئة العربية للطاقة الذرية

| الرقم | عنوان الكتاب | عدد الصفحات | اسم المؤلف | لغة الكتابة | تاريخ الصدور | السعر بالدولار الأمريكي | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | مؤسسات | أفراد |
| 1 | وقائع المؤتمر العربي الأول للاستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 780 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1993 | نـفـد | |
| 2 | استخدام الاشعاع والنظائر المشعة في الزراعة وعلوم الاحياء | 531 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1993 | نـفـد | |
| 3 | فيزياء وتقانة المفاعلات | 728 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1993 | 30 | 20 |
| 4 | استخدام الحاسوب في الفيزياء النظرية | 197 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1993 | نـفـد | |
| 5 | الطب النووي تشخيصاً وعلاجاً | 289 | مجموعة مؤلفين | إنجليزية | 1994 | نـفـد | |
| 6 | طرق اعداد تقريري الأمان النووي الأولي والنهائي لمفاعلات البحوث | مجلدان | مجموعة مؤلفين | إنجليزية | 1994 | 50 | 25 |
| 7 | تداول ومعالجة النفايات المشعة | مجلدان | مجموعة مؤلفين | إنجليزية | 1994 | 55 | 30 |
| 8 | استخدام التقنيات النووية في تحليل المواد | 420 | مجموعة مؤلفين | إنجليزية | 1994 | 20 | 15 |
| 9 | مصادر الطاقة في الوطن العربي والعالم الواقع والآفاق المستقبلية | 180 | د. نواف الرومي | عربية | 1994 | 15 | 10 |
| 10 | الرادون والتلوث البيئي الاشعاعي | 218 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1994 | 20 | 15 |
| 11 | إعداد برامج الرقابة البيئية | 618 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1995 | 30 | 20 |
| 12 | الإستعداد الطبي للحوادث الإشعاعية والنووية | 652 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1995 | 30 | 20 |
| 13 | تعقيم وحفظ المواد الغذائية بالإشعاع | 237 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1995 | 15 | 10 |
| 14 | إنتاج النظائر المشعة واستخداماتها الطبية | 828 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1995 | 50 | 25 |
| 15 | استخدام أجهزة الكشف عن الإشعاعات المؤينة ومعايرتها | 435 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1995 | 20 | 15 |
| 16 | استخدام المصادر المشعة في الصناعة | 387 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1995 | 20 | 15 |
| 17 | أجهزة القياس والإلكترونيات النووية | 469 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1996 | 30 | 20 |
| 18 | استخدام التقنيات النووية في تحسين الإنتاج النباتي | 687 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1996 | 50 | 25 |
| 19 | وقائع المؤتمر العربي الثاني للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 3 أجزاء | مجموعة مؤلفين | عربية | 1996 | 70 | 30 |
| 20 | النقل الآمن للمواد ذات النشاط الإشعاعي | 374 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1996 | 20 | 15 |
| 21 | تكنولوجيا الإشعاع في الأغذية والزراعة | 599 | د. محمود شرباش | عربية | 1996 | 30 | 20 |
| 22 | الهيئة في أربعة أعوام 1993 ــ 1996 | مجلدان | الهيئة العربية | عربية | 1997 | 30 | 20 |
| 23 | دورة الوقود النووي من الخام حتى الركاز الأصفر | 635 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1997 | 40 | 25 |
| 24 | معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة | 349 | الوكالة الدولية | عربية | 1997 | نـفـد | |
| 25 | الخامات الذرية في الوطن العربي | 386 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1997 | 30 | 20 |
| 26 | تصميم وإنشاء مرافق حفظ النفايات المشعة | 328 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1998 | 20 | 15 |
| 27 | الإشعاعات المؤينة وحفظ الغذاء من الحشرات | 143 | أ. د. محمد سعيد هاشم | عربية | 1998 | 15 | 10 |
| 28 | وقائع المؤتمر العربي الثالث للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 3 أجزاء | مجموعة مؤلفين | عربية | 1998 | 70 | 30 |
| 29 | نظام الضمانات الدولي وأسلوب تطبيقه على المستويين القطري والإقليمي | 392 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1998 | 30 | 20 |
| 30 | البرنامج النظري والعملي للتدريب في عمليات التصوير الشعاعي (المستوى الأول) | 243 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1999 | 20 | 10 |
| 31 | الحفاظ على الحبوب ومشتقاتها بالإشعاعات المؤينة | 130 | د. محفوظ البشير | عربية | 2000 | 15 | 10 |
| 32 | الأسس العامة لتكنولوجيا معالجة الأغذية بالإشعاع | 148 | أ. د. علي راضي | عربية | 2000 | 15 | 10 |

للحصول على المطبوعات المذكورة يرجى مخاطبة الهيئة العربية للطاقة الذرية على العنوان أدناه وارفاق شيك باسم الهيئة بالمبلغ المطلوب يضاف إليه قيمة البريد الجوي دولاران ونصف عن كل نسخة. أو إرسال تحويل إلى حساب الهيئة لدى الشركة التونسية للبنك :
رقم 840 ـ 3/ 4173 ـ 90 ـ 100 تونس على أن يتم إخطار الهيئة بصورة من مستندات التحويل .

**عنوان المراسلة** : الهيئة العربية للطاقة الذرية ص.ب. 402 المنزه 1004 ـ تونس
الجمهورية التونسية ـ هـاتف : 709.464 ـ 709.483 ـ فاكس : 711.330

# إلى العلماء والإختصاصيين والفنيين العرب

يمكنك أن تساهم في تحرير نشرة الذرة والتنمية
بل يمكنك أن تصبح أحد أعضاء اللجنة الإستشارية للنشرة
ندعوك للتقدم بمقالات علمية مبسطة مؤلفة أو مترجمة في مجالات الإستخدامات السلمية للطاقة الذرية حسب القواعد التالية :

1 ـ تقدم المقالات المؤلفة بحيث تكون موجهة لزيادة تعريف أبناء الوطن العربي بأساسيات العلوم والتقنيات النووية واستخداماتها في مختلف المجالات التطبيقية وأهميتها في التقدم الإقتصادي والإجتماعي .

2 ـ يجب أن تكون المقالات مطبوعة باللغة العربية الفصحى وتكون المصطلحات العلمية المتضمنة مطابقة لما ورد في المعاجم الموحدة لمصطلحات الفيزياء العامة والنووية والكيمياء والبيولوجيا الصادرة عن مكتب تنسيق التعريب بالمنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم .

3 ـ مراعاة تجنّب الإستنتاجات الرياضية المعقدة أو التفاصيل العملية الدقيقة التي تفوق مستوى القارىء غير المتخصص باعتباره القارىء المفضل لنشرة الذرة والتنمية .

4 ـ يجب أن تكون الموضوعات المطروحة ملائمة لأغراض النشرة ومتوافقة مع سياسة النشر بها ولم تسبق معالجتها بشكل مشابه في الأعداد السابقة .

5 ـ يشترط في المقالات المترجمة أن تكون مرفقة بالأصل الذي ترجمت منه في مجالات العلوم النووية ، علماً بأنه عند نشر المقالات المترجمة في نشرتنا يشار إلى إسم صاحب المؤلف الأصلي بالإضافة إلى ذكر اسم المجلة المنشور فيها سابقاً مع تحديد العدد وتاريخ النشر .

6 ـ يمكن للسادة المؤلفين إرسال استفساراتهم بشأن الموضوعات التي يرغبون في تقديمها للنشرة وعناصرها للحصول على رأي لجنة التحرير قبل إرسالها للنشر . أما بالنسبة للمقالات المترجمة فإن الموافقة المبدئية من لجنة التحرير أساسية قبل الشروع في الترجمة .

وتقوم الهيئة بدفع مكافآت رمزية لأصحاب المقالات المؤلفة تتراوح بين 70 و 150 دولارا أمريكيا للمقال الواحد المؤلف من 4 ـ 8 صفحات من صفحات الذرة والتنمية ، حسب طول المقال ، وقيمته العلمية ، أما بالنسبة للمقالات المترجمة فتدفع الهيئة للمترجمين العرب مبلغ 15 دولارا أمريكيا عن الصفحة الواحدة من صفحات الذرة والتنمية .

ISSN : 0330 - 7123



د. فتحي عبد الحي